

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B 2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Opravy tlakových licích forem pro výrobu odlitků ze slitin hliníku

Repairs of pressure casting moulds for a production of castings
from aluminium alloys

Dita Beranová
KSP - SM - B52

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant bakalářské práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - TU v Liberci

Počet stran: 49

Počet tabulek: 10

Počet obrázků: 29

Počet příloh: 5

Datum: 24. 5. 2013



Katedra strojírenské technologie

Studijní rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Dita B E R A N O V Á**

Studijní program **B2341 Strojírenství**

Studijní obor **3911R018 Materiály a technologie**

Zaměření **Strojírenská metalurgie**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Opravy tlakových licích forem pro výrobu odlitků ze slitin hliníku

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se charakteristikou provozního namáhání a způsobem opotřebení tlakových licích forem.
2. Ve spolupráci s firmou DGS Druckguss Systeme, s. r. o., v Liberci navrhnete parametry renovačního procesu (metoda a svařovací parametry, přídavný materiál, příprava návarových ploch).
3. Zajistěte zkušební návary tlakové licí formy.
4. Proveďte kontrolu realizovaných návarů.
5. Proveďte celkové zhodnocení dosažených výsledků.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky, makrostruktury

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] NOGOWIZIN B.: *Theorie und Praxis des Druckgusses*, 1. vydání, Schiele & Schön, Berlín, 2011.
- [2] VALECKÝ, J.a kol.: *Lití kovů pod tlakem*, 1.vydání, Praha, 1963.
- [3] Normy ČSN EN, ISO.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.



prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 - Strojírenství
Student: Dita Beranová
Téma práce: Opravy tlakových licích forem pro výrobu odlitků ze slitin hliníku

Repairs of pressure casting moulds for a production of castings
from aluminium alloys

Číslo BP: KSP - SM - B52
Vedoucí BP: Ing. Iva Nováková, Ph.D. – TU v Liberci
Konzultant BP: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - TU v Liberci

Abstrakt:

Cílem experimentální části této bakalářské práce bylo navrhnout parametry renovačního procesu u poškozených částí tlakové licí formy, v našem případě jádra. Experimentální práce byly realizovány s firmou DGS Druckguss Systeme, s. r. o. v Liberci. Místa návaru byla vybrána tak, aby reprezentovala obdobná místa v poškozených oblastech formy. Při vyhodnocování návarů v laboratořích katedry strojírenské metalurgie TUL byla pozornost soustředěna na oblasti návarů, ve kterých se mohla vyskytnout nežádoucí poškození a na místa s možným nežádoucím poklesem mechanických vlastností.

Abstract:

The main aim of the bachelor thesis was to suggest parameters of renovation process for damaged parts of a pressure casting mould, particularly for a core. An experimental work was realized with cooperation of DGS Druckguss Systeme, s. r. o. which is situated in Liberec. The places of a weld were chosen to represent similar places of damaged forms. While weld evaluation in laboratories of department of mechanical engineering metallurgy, the main attention was focused on an area of welds where an undesirable damage could occur and on places with an undesirable fall of mechanical properties.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24.5. 2013

.....

Dita Beranová
Komořanská 825/15
434 01 Most

Poděkování:

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé práce Ing. Ivě Novákové, Ph. D. za cenné rady, připomínky a především za její trpělivost při naší spolupráci.

Dále bych chtěla poděkovat doc. Ing. Heinz Neumannovi, CSc., EWE za cenné rady při tvoření experimentální části této bakalářské práce.

V neposlední řadě musím poděkovat také své rodině za podporu během celého mého studia.

Dita Beranová

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	7
1. ÚVOD.....	8
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1 Tlakové lití.....	9
2.1.1 Tlakové lící stroje.....	10
2.2 Tlaková lící forma	11
2.2.1 Namáhání formy v provozu	12
2.2.2 Materiál formy	15
2.2.3 Výroba kovových forem	16
2.3 Trvanlivost forem a způsoby ochrany povrchu.....	18
2.3.1 Ochrana povrchu formy	19
2.4 Opravy forem v provozu	20
2.4.1 Navařování metodou TIG	20
2.4.2 Navařování laserem.....	21
2.4.3 Mikronavařování.....	22
2.4.4 Navařování plazmou a mikroplazmou	22
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	23
3.1 Popis realizovaných experimentů	23
3.2 Vyhodnocování realizovaných experimentů.....	25
3.2.1 Kapilární zkouška návarů.....	25
3.2.2 Metalografické hodnocení.....	27
3.2.3 Zkouška mikrotvrdosti dle Vickerse	29
3.3 Vyhodnocení mikrotvrdosti	32
4. ZÁVĚR	38
5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	40
6. SEZNAM PŘÍLOH.....	42

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TIG	- svařování netavící se elektrodou v inertní ochranné atmosféře	
ČSN	- Česká technická norma	
δ	- poměrné protažení vrstvy	
α	- lineární koeficient tepelné roztažnosti	[1/°C]
t_1	- teplota pod tenkou vrstvou	[°C]
t_2	- nejvyšší teplota v průřezu celé povrchové vrstvy	[°C]
σ	- tlakové napětí	[MPa]
m	- Poissonova konstanta	
E	- modul pružnosti	[MPa]
HRC	- tvrdost podle Rockwella	
HV	- tvrdost podle Vickerse	
F	- zkušební zatížení	[N]
d	- aritmetický průměr délek dvou úhlopříček	[mm]

1. ÚVOD

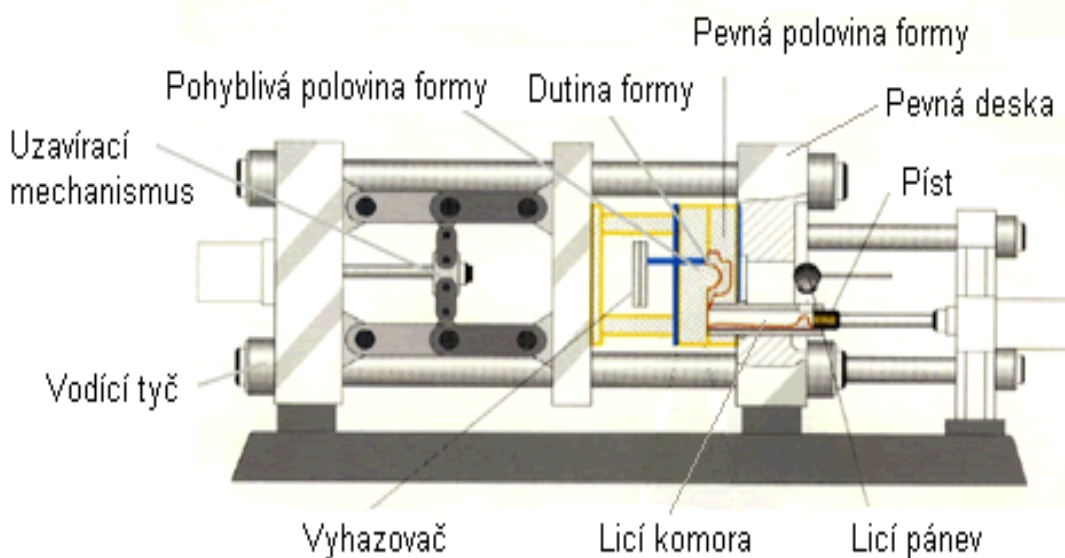
Zadání bakalářské práce vzniklo na základě spolupráce firmy Druckguss Systeme, s. r. o. v Liberci a Technické univerzity v Liberci, katedry strojírenské technologie. Firma Druckguss Systeme, s. r. o. je zaměřena na výrobu odlitků ze slitin hliníku metodou tlakového lití. Při tlakovém lití se používají kovové formy, které jsou provozně vysoce namáhané mechanicky, teplotně a chemicky. Lící cyklus se realizuje podle druhu odlitku a odlévané slitiny cca 150 000 krát a během provozu často dochází ke kavitačnímu nebo mechanickému poškození. Opatřování jednotlivých částí formy není rovnoměrné a v nejexponovanějších místech se mohou vytvářet trhliny. Při snaze o zvýšení životnosti forem se tyto defekty opravují nejčastěji metodou svařování ISO 4063 – 141 (metoda svařování netavicí se elektrodou v inertní ochranné atmosféře – Metoda TIG). Aplikace renovačních metod při opravách forem je významným činitelem pro snižování výrobních nákladů.

Ke kvalitně provedené renovaci opotřebené části je potřeba zvolit nejen vhodnou metodu svařování ale také vhodný přídavný materiál a také stanovit vhodný technologický postup. Cílem této bakalářské práce je ověřit některé dílčí parametry renovačního procesu formy pro odlévání slitin hliníku pod tlakem.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Tlakové lití

Tlakové lití je obecně jednou z nejpoužívanějších technologií pro výrobu odlitků ze slitin hliníku. Je založeno na principu, při kterém je do dutiny kovové formy vstřikována tavenina vysokou rychlostí (40-60 m/s), kde následně tuhne pod vysokým tlakem (20 – 100 MPa). Díky tomu dochází k dokonalému vyplnění dutiny formy a je možné vyrábět tvarově velmi komplikované odlitky s velmi tenkými stěnami. Rozměry odlitků jsou velmi přesné a u menších rozměrů lze dosáhnout přesnosti 0,3 – 0,5%. Velikost odlitku je limitována uzavírací silou stroje, která je potřebná k udržení obou částí formy k sobě při působení dotlaku. Uzavírací síla je dána plochou odlitku v rovině kolmé na směr zavírání formy a dotlakem. [1,2]



obr. 2.1 Princip tlakového lití [16]

Licí proces lze rozdělit do několika etap. Nejprve se do licí komory tlakového licího stroje nalije potřebné množství kovu. To lze realizovat buď ručně, pomocí manipulačního robotu nebo automaticky z dávkovací pece. Následně je roztavený kov pomocí pístu vstříknut pod tlakem do dutiny formy. Pro zaručení dobrého vyplnění formy se aplikuje nucený pohyb kovu, při kterém je odlévaný kov stlačován pístem po celou dobu plnění a to až do úplného ztuhnutí. Vtokovým systémem prochází velké množství kovu vysokou rychlostí. Důsledkem toho vzniká tření a část pohybové energie proudu kovu se mění v teplo a teplota kovu se tedy zvyšuje. V poslední fázi plnění dutiny formy působí tzv. „dotlak“, kterým je kompenzováno smrštění a také je zajištěno dokonalé vyplnění formy. Odlitek se

pak vyjme pomocí vyhazovačů po otevření pohyblivé části formy. Odebírání ze stroje se pak provádí ručně, nebo robotem. Na ostřihovacích lisech, které jsou součástí pracoviště lícího stroje, se odstraní z odlitku vtoková soustava. Povrch odlitku je hladký a kvalitní a požadavek na jeho opracování a dokončovací operace je minimální. Odlitky mohou být dále dokončovány apretováním, omíláním, nebo také obráběním. Takto zhotovené odlitky můžeme nalézt například v automobilovém, motocyklovém a leteckém průmyslu. [3]

V porovnání s ostatními metodami lití se vysokotlaké lití vyznačuje poměrně malým sklonem ke vzniku vad. Nejzávažnější vadou je vznik vnitřní porezity odlitku. Dnes jsme díky moderní technologii schopni vzduch z dutiny formy do značné míry odsát pomocí vakuovacích zařízení. [4]

- *Výhody:*
 - vysoká produktivita;
 - možnost výroby odlitků v úzkých rozměrových tolerancích;
 - odlitky mají hladký povrch;
 - možnost výroby složitých tvarů a tenkostěnných odlitků;
 - možnost zalití vložek z jiného materiálu;
 - použití velkého počtu slitin.
- *Nevýhody:*
 - vysoké náklady na výrobu formy a pořízení lícího stroje;
 - velikost odlitku je omezená velikostí stroje;
 - odlitky mají menší tažnost;
 - není vhodná pro malé série. [1,5]

2.1.1 Tlakové lící stroje

Tlakové lící stroje se dělí podle konstrukce na dva základní typy, na stroje se studenou a teplou lící komorou. Podle směru pohybu plnicího pístu se dělí na stroje s horizontální nebo vertikální komorou. Nejdůležitější částí tlakově lících strojů je vstřikovací (lisovací, plnicí) mechanismus. Jeho úkolem je dopravit definovanou rychlostí kov do formy a po dobu tuhnutí na něj působit tlakem.[6]

Stroje s teplou komorou slouží k odlévání slitin s nízkou teplotou tavení, jako jsou slitiny zinku, olova, cínu nebo hořčíku. Stroje se studenou komorou se používají pro odlévání slitin hliníku. U těchto strojů je lící komora umístěna mimo udržovací pec. Roztavený kov se do ní dopravuje dávkovacím zařízením těsně před vstříknutím do dutiny formy. Množství nalitého kovu musí odpovídat velikosti odlitku a velikosti komory.

Vývoj dal přednost strojům s horizontální licí komorou. Vodorovná licí komora je konstruována s otvorem, do kterého se nalévá roztavená slitina. Z důvodu eliminace samovolného lití kovu do dutiny formy před samotným pracovním cyklem se forma umísťuje nad úroveň licí komory.[5]

Pracovní cyklus licího stroje lze rozdělit do následujících operací:

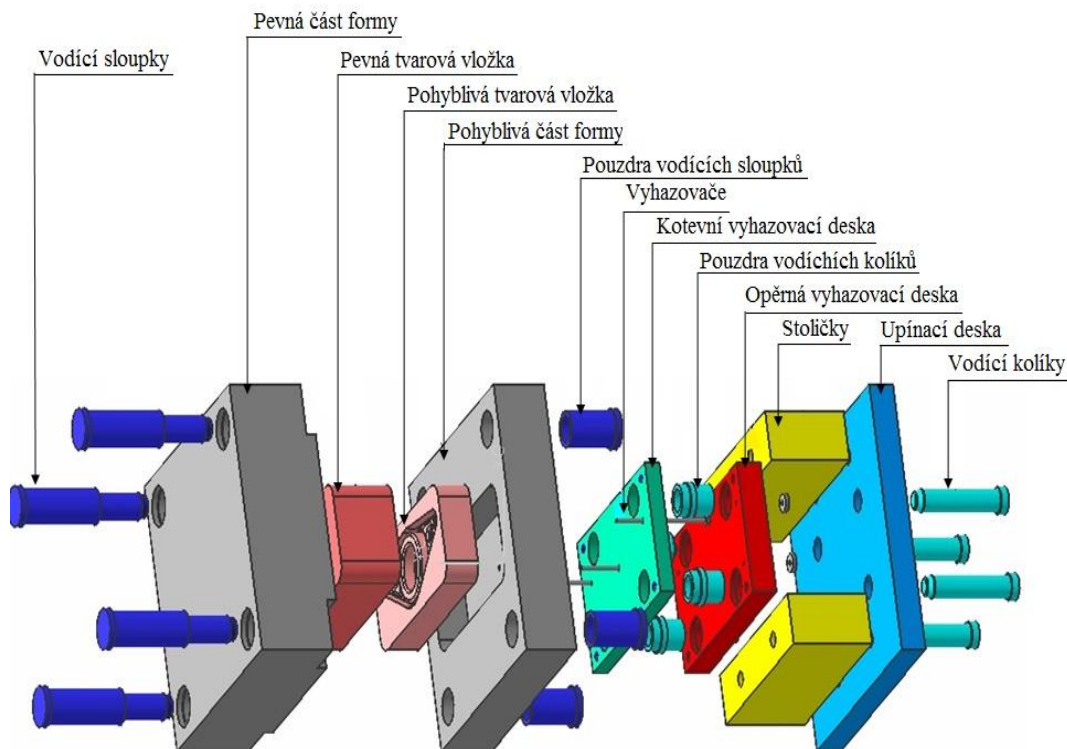
- a) Ošetřená forma je uzavřena, namazání licího pístu.
- b) Nadávkování taveniny do licí komory.
- c) Lisování – píst tlačí taveninu do dutiny formy.
- d) Tuhnutí kovu za působení tlaku pomocí pístu.
- e) Otevření formy, odlitek vyjíždí na pohyblivé části formy.
- f) Vyhození odlitku pomocí vyhazovacích kolíků, píst se vrací zpět do své výchozí polohy.
- g) Ošetření lince formy separační látkou.
- h) Cyklus se opakuje. [12]

2.2 Tlaková licí forma

Při tlakovém lití se používají přesně vyrobené ocelové formy. Na jejich provedení závisí z velké části kvalita odlitků a bezporuchový provoz při lití. Vzhledem ke značným pořizovacím nákladům musí mít forma dlouhou životnost, přičemž nesmí nastat její podstatné opotřebení. [10]

Forma se skládá z pevné a pohyblivé části. Funkční část formy, která je přímo ve styku s taveninou, se skládá z vložek, které jsou uloženy v rámu. V pevné části formy je umístěna jedna tvarová vložka a do pohyblivé části je vložena druhá část tvarové vložky. Pevná část formy je upnuta na pevném nosiči tlakového stroje a je nepohyblivá. Pohyblivá část spolu s nosičem formy se pohybuje po horizontálních vodících sloupech stroje a obsahuje vtokovou soustavu. Vyhazovací systém je tvořen nejčastěji pomocí vyhazovačů. O opěrnou vyhazovací desku se opírají čela vyhazovačů, tak aby bylo možné jejím pohybem zabezpečit vyjmutí odlitku. Vyhazovače uvolňují odlitek z tvarové vložky. Vodící kolíky vymezují polohu vyhazovacích desek vůči rámu formy. [17]

Součástí slévárenských forem bývají často kovová jádra. Jádra slouží k vytvoření potřebných dutin a otvorů v odlitku (pravé jádro) nebo vytvoření vybrání a drážek (nepravé jádro). Materiálem pro výrobu jader je ocel 1.2343, 1.2344 nebo 1.2367. Pro snadné vysunování se jádra dělají s úkosem až 1:100 pro zinkové a hliníkové slitiny. Pohyb jader je zajištěn příslušnými hydraulickými tahači. [7]



obr. 2.2 Části tlakové formy [17]

2.2.1 Namáhání formy v provozu

Během provozu je kovová forma při lití, tuhnutí a chladnutí odlitku namáhána mechanicky, chemicky a tepelně. Při komplexním studiu namáhání formy je nutno mít na zřeteli, že všechny druhy namáhání působí současně. Svými účinky se vzájemně ovlivňují a jsou dále ještě komplikovány materiálovými a konstrukčními parametry samotné formy, její dutiny i parametry technologického postupu.

Mechanické namáhání je vyvoláno statickým a dynamickým tlakem taveniny na líc formy, třením proudu taveniny o stěny formy při tečení, silami vznikajícími při brzděném smršťování odlitku v tuhém stavu a třením odlitku při jeho vyhazování z formy. Uskutečňuje se v převážné míře jako namáhání tlakové a s ohledem na vysoké hodnoty mechanických vlastností materiálů kovových forem se důsledky jeho samotného nějak zvlášť nepříznivě neprojevují. [11]

Chemické namáhání je způsobeno vzájemnou rozpustností materiálu formy a odlévané slitiny. Podle rovnovážného diagramu Fe – Al tvoří hliník při 700°C tři intermediární fáze FeAl_2 , Fe_2Al_5 a FeAl_3 . Jsou to velmi křehké fáze, které i při nepatrné tloušťce mohou velmi nepříznivě ovlivnit povrch odlitku i formy a mohou formu rychle zničit.

Druhým předpokladem jsou příznivé kinetické podmínky. Záleží tu především na lici teplotě. Čím je tato teplota vyšší, tím rychlejší je difúze a tvorba intermediárních fází. Potom vznikají tenké křehké vrstvičky, kterými jsou poškozovány jak líc formy, tak povrch odlitku. Tento jev je v praxi znám jako nalepování v těch místech, kde je největší rychlost tekutého kovu a kde také může docházet při vstřikování ke zvýšení jeho teploty nad teplotu lití. Často jsou tak ohrožována jádra, zejména nevhodně umístěná. Čelí se mu co největší tvrdostí líce formy, ochrannými vrstvami formy, jejím ošetřením, co nejnižší lici teplotou i teplotou formy. [5,11]

Tepelné namáhání je způsobeno odléváním příliš teplého materiálu do studené formy při nedostatečné povrchové izolaci vhodným nástřikem. Což způsobuje velké namáhání povrchových vrstev materiálu lici formy, tvoření trhlin, a tím se podstatně zkracuje životnost formy. Příliš vysoká teplota licích forem má velmi nepříznivý vliv na tvrdost přehřátých částí lici formy. U velkých a členitých forem se vlivem tepelné roztažnosti porušuje rozměrová stabilita formy. Při odlévání hliníkových slitin do příliš přehřátých forem dochází k intenzivnímu nalepování materiálu na přehřátá místa, což působí velké potíže při vyjímání jader nebo při vyjímání odlitků z dutiny formy.

Aby se nezvyšovala průměrná teplota lici formy vlivem tepelných nárazů, je důležité dodržet správný lici rytmus. Dodržování pravidelnosti liciho rytmu má přímý vliv na výkon liciho stroje, na životnost a poruchovost lici formy i na kvalitu vyráběného odlitku.

Při styku s teplým kovem se povrch formy rychle ohřeje na teplotu značně vyšší, než je teplota ostatního materiálu formy. V této fázi se objevují v povrchové vrstvě formy napětí v tlaku, protože tato vrstva má snahu zvětšit svůj objem vlivem tepelné roztažnosti, avšak ostatní chladnější části formy tomu zabraňují. Dochází k rychlému předávání tepla do povrchu formy z taveniny, která chladne a tuhne, zatímco povrch formy se ohřívá, přičemž teplo prostupuje stěnou formy. Vstřikovaný kov se také může ohřívát třením o stěny formy, takže teplota stěny formy může stoupnout nad lici teplotu. [5,11]

Na lici formy bude větší sklon k dilataci v důsledku tepelné roztažnosti materiálu formy než v hloubce. V různých hloubkách vzniknou rozdílné dilatace, které vytváří napětí úměrné teplotnímu gradientu.

Známe-li lineární koeficient tepelné roztažnosti α a uvažujeme-li, že nejvyšší teplota v průřezu celé povrchové vrstvy je t_2 a teplota pod tenkou vrstvou t_1 , bylo by poměrné protažení vrstvy δ dáno vztahem: [11]

$$\delta = \alpha(t_2 - t_1) \quad (2-1)$$

Vrstva se nemůže roztahovat, proto v ní vzniká tlakové napětí σ :

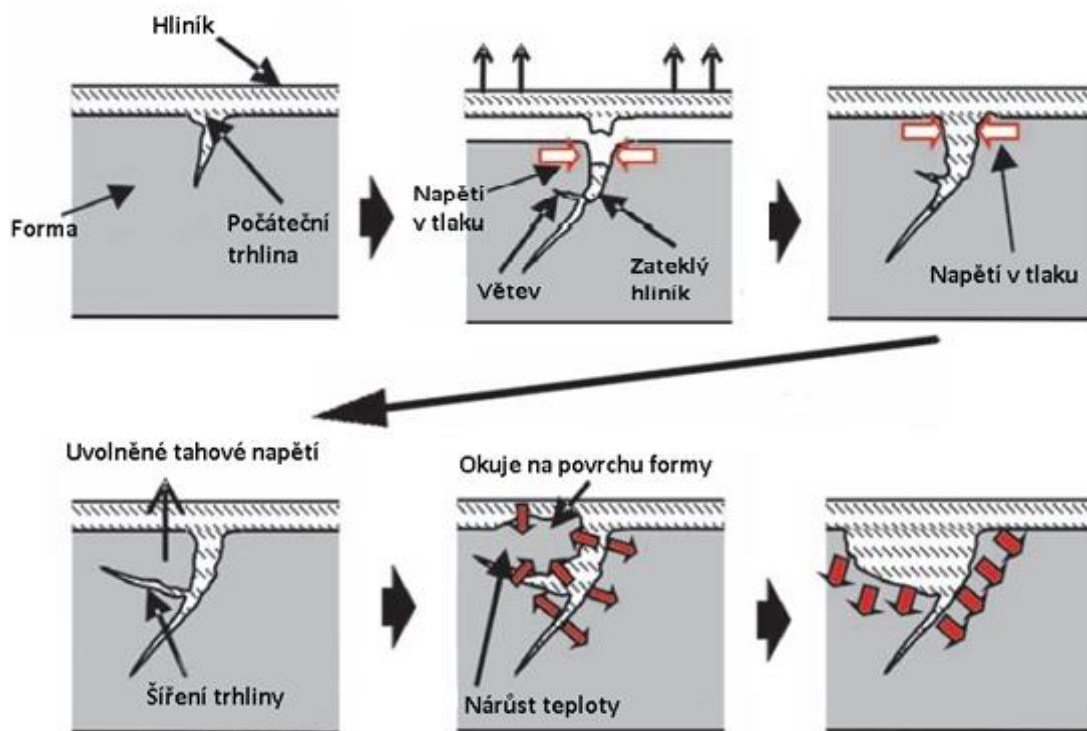
$$\sigma = \frac{\delta \cdot m \cdot E}{m-1} \quad (2-2),$$

kde značí: μ ... Poissonova konstanta,
 E ... modul pružnosti [MPa].

V ostatním průřezu tato tlaková pnutí vyvolávají tahová pnutí, se kterými jsou v rovnováze.

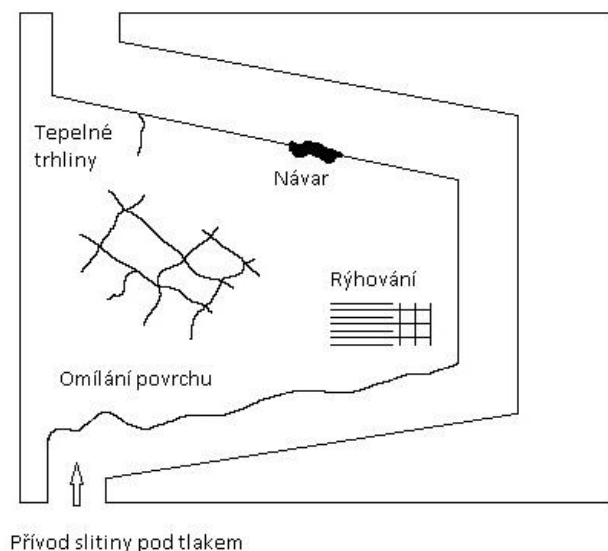
Při chladnutí formy je tomu naopak. Chladnoucí pracovní vrstvy se rychle smršťují a po jejich vstupu do oblastí pružných deformací se v nich vyvíjí vlivem pomalejšího smršťování sousedních vrstev tahová napětí. Dojde k obrácenému rozdělení teplot a tím ke změně znamének napětí. To vede ke střídavému namáhání, kdy na povrchu je teplota značně vyšší než teplota zotavení popř. rekrytalizace. Vzniká větší možnost zotavení než v určité vrstvě pod povrchem, kde se s rostoucím počtem cyklů rychleji vyčerpávají možnosti kluzů, a vzniká zárodek první trhliny. Schéma mechanismu vzniku trhliny je na obr. 2.3. Trhlina se dále šíří po délce a zároveň se vytváří další trhliny, které tvoří síťoví.

Bude-li forma pracovat při nižší lící teplotě, je zde větší nebezpečí vzniku trhlinek na povrchu, protože namáhání pod povrchem bude malé. [11]



Obr. 2.3 Mechanismus vzniku trhliny [13]

Forma se temperuje temperačním médiem (olej, voda, glykol). Doporučená teplota líce formy pro slitiny hliníku je 180°C až 300°C. Temperační systém zajišťuje optimální teplotní podmínky v průběhu lícího cyklu. Temperační kanálky jsou umístěny rovnoběžně s dělicí rovinou poblíž nejteplejších míst. Chlazení formy znamená velké požadavky na odolnost materiálu forem proti střídavému namáhání. Správné chlazení má zmenšovat tepelný spád mezi teplotou pracovní dutiny a teplotou vrstev formy vzdálenějších od líce. [9]



Obr. 2.4 Vady vyskytující se na tlakové formě [19]

2.2.2 Materiál formy

Tlakové lící formy jsou vyráběny z nástrojové oceli pro práci za tepla. Vzhledem k namáhání forem v provozu jsou používány materiály s vysokou odolností vůči tepelným změnám, tj.:

- s vysokou mezí kluzu R_e za pracovních teplot formy;
- nízkou tepelnou roztažností – čím menší tepelná roztažnost a modul pružnosti, tím nižší velikost vznikajícího napětí;
- vysokou tepelnou vodivostí – čím je vyšší tepelná vodivost, tím se rychleji odvádí teplo z líce formy. Vyšší součinitel tepelné vodivosti znamená nižší tepelně mechanické namáhání;
- umožňuje tepelné zpracování;
- tvarovou stálostí při provozu;
- co největší odolností proti popouštění;
- odolností proti erozi, opotřebení za zvýšených teplot, tvorbě trhlinek tepelné únavy. [11]

Vývoj ocelí pro výrobu forem začal ocelmi uhlíkovými. Tyto oceli se především používají na části forem, které nepřicházejí do styku s tekutým kovem. Je to například ocel 1.005 (ČSN 11 500) na vodící a opěrnou desku vyhazovačů.

Pro díly, které nejsou v přímém kontaktu s taveninou, se používají oceli se středním obsahem uhlíku 0,30 až 0,45% C, které jsou legované manganem, chromem, vanadem i molybdenem. Například ocel 1.8504 se používá na vyhazovače.

Pro výrobu tlakových vložek, které jsou v přímém kontaktu s taveninou, se v praxi používají ocele chromové, wolframchromové, chrommolybdenové.

Wolframchromové oceli jsou vhodné na části formy, které musí v provozu odolávat značnému opotřebení a nalepování, tedy v místě vtoku. Ocel s 9% W (např. 1.2581 nebo Böhler W104) mají zvýšenou odolnost proti opotřebení a mají nižší houževnatost. Jsou proto vhodné pro nejvíce namáhané části formy (např. protivtokové vložky). Ocel Böhler W104 je houževnatější a používá se při potřebě vyšší odolnosti proti mechanickým rázům a proti náhlým změnám teplot. Ocel se 4% wolframu (např. 1.2567 nebo 1.2564) si zachovává svoji pevnost i při vysokých teplotách, má dobrou houževnatost a odolnost proti změnám teplot.

Chrommolybdenové ocele 1.2343, 1.2344 a 1.2605 obsahují 5% Cr s dalšími přísadami Mo, W, V. Vyznačují se vysokou pevností, dobrou prokalitelností, zachovávají si pevnosti při vysokých teplotách, jsou houževnaté a dobře odolávají prudkým změnám teplot. U těchto ocelí se doporučuje ochrana povrchové vrstvy nitridací nebo sulfonitridací.

Ocele 1.2365 a 1.2367 mají velmi dobré pevnostní vlastnosti a vysokou odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách, proto jsou vhodné pro výrobu hliníkových odlitků se silnými stěnami. Další používané oceli na formy jsou uvedené v tabulce Tab. 1. [5,18,19]

Tab. 1 Nástrojové oceli na formy [18,19]

Označení				chemické složení [%]											
EN ISO 4957	EN 10027	ČSN	firma	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Co	Ti	Al	Ni	B
32CrMoV12-28	1.2365	19 541	Böhler W320	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,70-3,20	2,50-3,00	0,40-0,70	-	-	-	-	-	-
			THYROTHERM 2365 EFS												
X37CrMoV5-1	1.2343	19 552	Böhler W300, (W400)	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,10-1,50	0,30-0,50	-	-	-	-	-	-
			THYROTHERM 2343 EFS												
			THYROTHERM E 38 K												
X38CrMoV5-3	1.2367		Böhler W303, (W403)	0,36-0,40	0,30-0,50	0,30-0,50	4,80-5,20	2,70-3,20	0,40-0,60	-	-	-	-	-	-
			THYROTHERM 2367 EFS												
X40CrMoV5-1	1.2344	19 554	Böhler W302	0,35-0,42	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,20-1,50	0,85-1,15	-	-	-	-	-	-
			THYROTHERM 2344 EFS												
X30WCrV9-3	1.2581	19 721	Böhler W100	0,25-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,50-3,20	-	0,30-0,50	8,50-9,50	-	-	-	-	-
X32CrMoCoV3-3-3	1.2885		Böhler W321 ISODISC	0,32	0,30	-	3,00	2,80	0,65	-	2,90	-	-	-	-
			THYROTHERM 2885 EFS												
X15CrCoMoV10-10-5	1.2886		Böhler W705	0,16	0,20	0,20	10,00	5,10	0,50	-	10,00	-	-	-	-
			Böhler W360 ISOBLOC	0,50	0,20	0,25	4,50	3,00	0,55	-	-	-	-	-	-
			Böhler W350	0,38	0,20	0,55	5,00	1,75	0,55	-	-	-	-	-	-
X2NiCoMo18-9-5	1.2706		Böhler W720 Maraging	max. 0,005	max. 0,05	max. 0,10	-	5,00	-	-	9,00	0,70	0,10	-	-
X6NiCrTi26-15	1.2779		Böhler W750	0,02	max. 0,20	1,40	15,00	1,25	0,30	-	-	2,50	0,25	25,00	0,01

Podle [5] by mohl být dalším vhodným materiálem kompozitní materiál zpevněný částicemi titanu (TiB a TiC). Kompozitní materiál splňuje všechny požadavky na vlastnosti dutiny formy pro tlakové lití hliníkových slitin.

2.2.3 Výroba kovových forem

Výroba kovových forem je založena na specializované výrobě, dnes pomocí moderních číslicově řízených obráběcích strojů, které umožňují přesnou výrobu složitých dutin kovových forem. Dutina formy se vyrábí mechanickým opracováním obráběním, práškovou metalurgií nebo litím ve vakuu. [7]

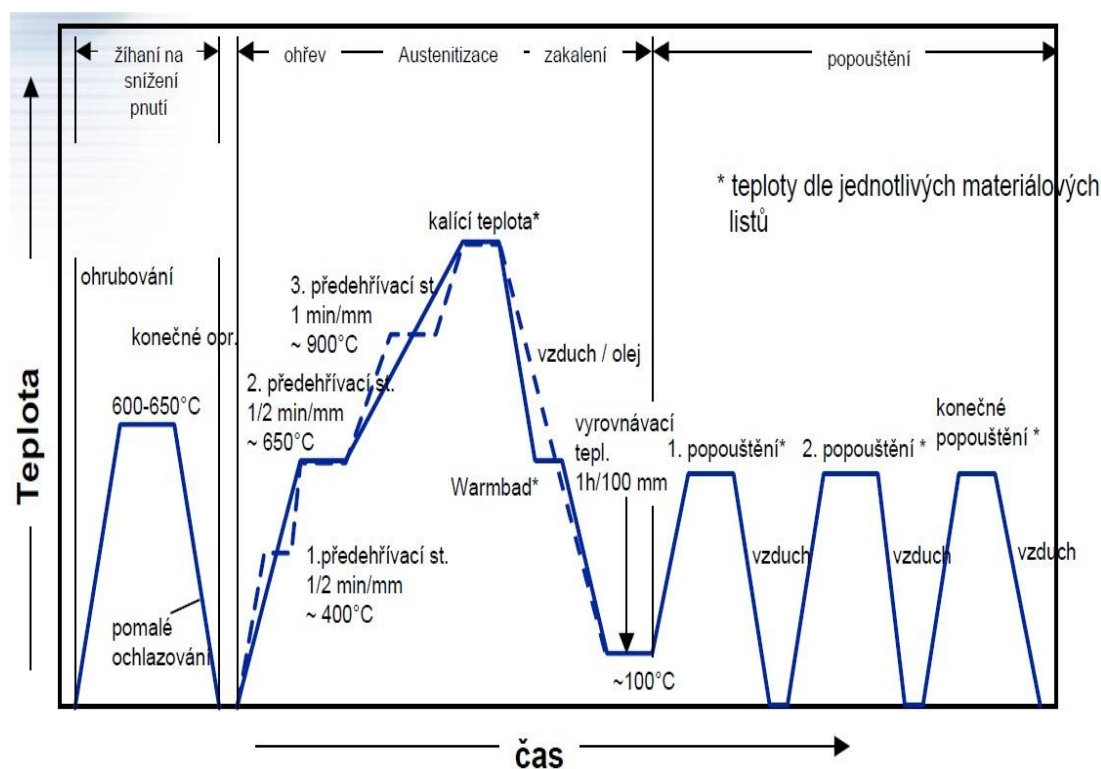
U lisování tvaru dutiny za tepla se nejprve forma zhruba vyhloubí, zahřeje, vloží do přípravku a upraveným lisovníkem se vylisuje požadovaný tvar dutiny.

U lisování za studena se dutina pro malé a mělké odlitky vytvoří vtlačení lisovníku do upraveného bloku formy.

Další technologií, která se při výrobě forem využívá, je elektrojiskrové obrábění, u kterého se pomocí měděné elektrody a stejnosměrného proudu vyjiskří dutina i do velmi tvrdého materiálu. Vyjiskřování se nejčastěji využívá pro výrobu děr na jádra a vložky.

Galvanoplastická výroba je založena na výrobě skořepin pomocí některé technologie povrchových úprav. Jedná se o velmi přesnou výrobu, která umožňuje dokonalé kopírování předlohového modelu. Používá se pro členité a tvarově velmi náročné formy. [7]

V současné době se provádí tepelné zpracování kalením a popouštěním ve vakuu. Tepelné zpracování formy je dáno výrobcem a je uvedeno v materiálových listech dané oceli. Podmínky tepelného zpracování mají velký vliv na tepelnou únavu materiálu a tvorbu povrchových trhlin na formě. Jako příklad je uvedeno tepelné zpracování oceli 1.2343 od firmy Böhler, které je znázorněno na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Diagram tepelného zpracování oceli na formy [18]

Ocel 1.2343 je stupňovitě ohřívána na austenitizační teplotu 1000 až 1040°C ve dvou předehřívacích stupních, výdrž na austenitizační teplotě po prohřátí v celém průřezu 15 až 30 minut. Následuje ochlazení do oleje, solné lázně (500 až 550°C) nebo vzduchu. Tvrdost po kalení je 52 až 56 HRC při kalení v oleji nebo solné lázni a 50 až 54 HRC

při kalení vzduchem. Bezprostředně po kalení se ocel pomalu ohřívá na popouštěcí teplotu. Popouští se minimálně dvakrát a třetí popouštění je na snížení pnutí. První popouštění je 30°C nad teplotou maxima sekundární tvrdosti. Druhé popouštění na pracovní tvrdost, popouštěcí teplota se volí podle požadované tvrdosti z obr. 2.5. Třetí popouštění na snížení pnutí, teplota je 30 až 50°C pod nejvyšší teplotou popouštění. Výdrž na teplotě je 1 hodina na 20 mm tloušťky, nejméně jsou to však 2 hodiny a následné ochlazování na vzduchu. [18]

2.3 Trvanlivost forem a způsoby ochrany povrchu

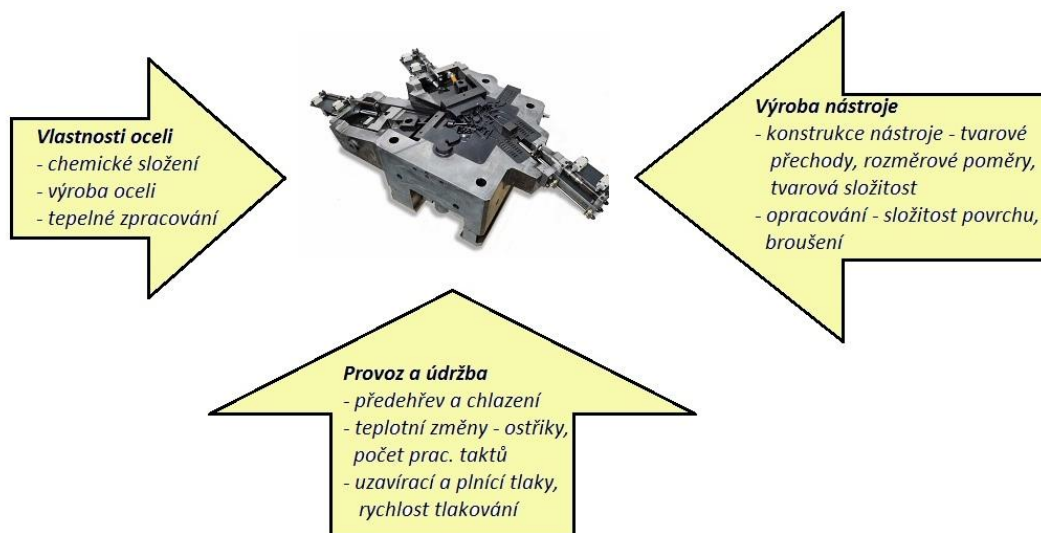
Trvanlivost forem závisí na použitém materiálu a na odlévané slitině. Hlavním kritériem pro trvanlivost formy je dokonalost jejího líce. Formu je třeba vyřadit, jakmile se na ní vytváří síť trhlinek. Velké trhliny po menším počtu operací nejsou pro trvanlivost formy typické a jejich příčinu je třeba hledat ve vadě materiál, v nevhodném tepelném zušlechtnění nebo ve špatném ošetření při práci. Příčinou vzniku sítě trhlinek je střídavé tepelné namáhání líce formy při provozu. [11]

Dalším kritériem je opotřebení za vyšších teplot, které se vyskytují jen na některých místech formy, a lze mu zabránit vyvločkováním.

Na životnost a zvýšení trvanlivosti formy mají kromě garantovaného materiálu a jeho tepelného zpracování dále vliv:

- provozní podmínky při odlévání, temperování formy, použití nižších tlaků při odlévání do vakuované formy, plynulost výroby;
- důsledné provádění mezižhání tvarových vložek a jader k odstranění vnitřního pnutí po odlití předepsaného počtu operací;
- pečlivá údržba, čištění formy a chladicího systému, natryskání dutiny po výrobní sérii;
- ke zvýšení odolnosti proti nalepování nebo vymývání kovem se povrch formy u naříznutí ztvrdne najiskřením wolfram-karbidovými elektrodami;
- regulace teploty formy;
- použití vhodného například endotermického maziva pro formu a také typ a množství nástřiku;
- použití materiálu pro výrobu forem s nejmenší tepelnou roztažností, nejmenším modulem pružnosti a největší tepelnou vodivostí. [5. 6. 11]

Ve snaze zvýšit životnost forem, se formy opravují. Při opravách a údržbě forem jsou využívány různé metody navařování, např. metodou TIG. Na jemnější tvary a hrany se použijí mikrosvářečky nebo laserové mikrosvářečky.



Obr. 2.6 Faktory ovlivňující životnost tlakové formy [19]

2.3.1 Ochrana povrchu formy

Nalepování hliníkových slitin na povrch jednotlivých dílů forem znamená také vysoké náklady spojené s odstávkou a čištěním forem. Nalepený hliník je ve většině případů odstraňován mechanicky a po několikerém čištění není možné formy resp. jádra pro ztrátu rozměru dále používat. [15]

V praxi se pro zvýšení životnosti forem využívají:

Nástřiky pracovního povrchu kovové formy. Líce formy musí být po odlití každého kusu očištěna tlakovým vzduchem, vizuálně zkontrolována a ošetřena postřikem. Typ nástřiku má vliv na kvalitu povrchu budoucího odlitku a chrání formu a jádra před přímým stykem s taveninou. Nástřiky jsou nanášeny manipulátory nebo roboty podle předem připraveného časového programu. Ochranné prostředky jsou kapalné, vazelinové konzistence nebo tuhé. Komponenty nástřiků tvoří koloidní grafit a rozpouštědla. Velmi důležité je nanášení těchto prostředků ve formě mlhy, tak aby se rozpouštědlo rychle odpařilo a plnivo vytvořilo velice jemnou strukturu postřiku. Postřik vytváří mezivrstvu na hranici forma-kov, a proto také ulehčuje vyjímání odlitku z formy. [8]

Povlakování - kromě tepelného zpracování a nitridace povrchu je pro zvýšení životnosti používáno povlakování jader a forem tvrdými povlaky technologií PA CVD. Tento povlak omezuje nalepování slitin hliníku na povrch formy a pro omezení chemického působení roztaveného hliníku. Povlakování také omezuje tvorbu a šíření tepelných trhlin. PA CVD technologie umožňuje povlakovat těžké, rozměrné a tvarově komplikované formy homogenním povlakem.

U této technologie je povlak vytvářen vylučováním z plynné fáze při teplotách 480 - 530 °C. Nucenou cirkulací plynů v reakčním prostoru a homogenním rozvojem plazmy

v celém reakčním prostoru je zaručeno, že povlak o tl. 2 - 3 μm se vytvoří i v průchozích i neprůchozích otvorech. Experimentálně bylo prokázáno, že povlak se vytváří i u velmi tenkých drážek o šířce 1 mm do hloubky 20 mm. Pro řešení výše uvedených problémů je doporučeno nanášet povlak TiBN+ TiB₂. [15]

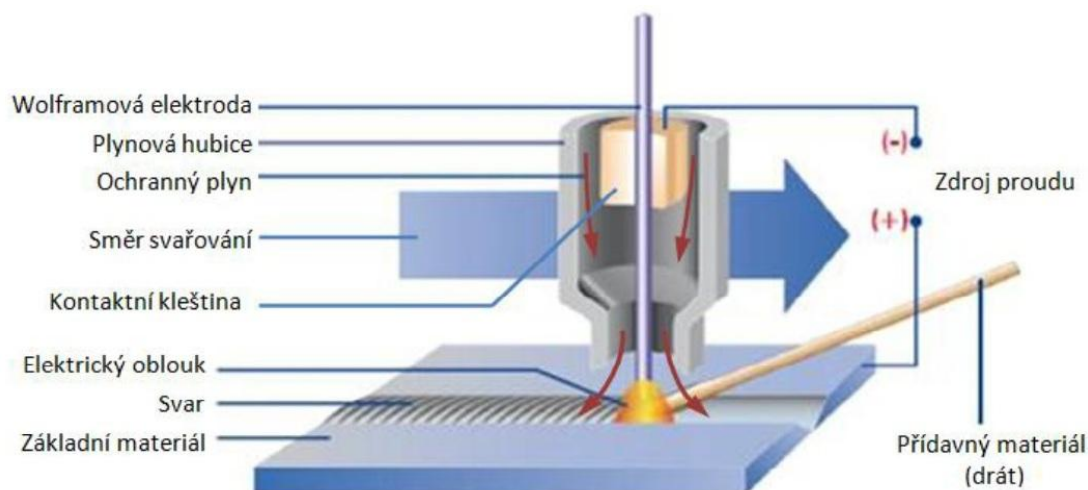
2.4 Opravy forem v provozu

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, formy často trpí kavitačním nebo mechanickým poškozením a jsou proto nutné jejich opravy. Ve snaze o snížení provozních nákladů jsou dnes formy opravovány navařováním. Při renovaci navařením je třeba počítat i s tím, že ohřevem formy se v materiálu vykazují strukturní změny. Proto při navařování forem se musí při volbě technologie navařování vycházet z chemického složení a stavu navařované formy. Hlavní podmínkou úspěšnosti renovace je správná analýza druhu opotřebení, vlivu prostředí, pracovních podmínek a na základě tohoto rozboru návrh odpovídající technologie navařování a výběr příslušného přídavného materiálu. Efektivita renovací navařováním se pohybuje do cca 70% ceny nového nástroje. [20]

2.4.1 Navařování metodou TIG

Metoda navařování TIG je nejpoužívanější při opravách ocelových forem na tlakové lití. Svařování a navařování neodtavující se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu, která je mezinárodně označována zkratkou WIG – wolfram inert gas nebo také TIG – tungsten inert gas. V souladu s ČSN EN ISO 4063 je tato metoda označována jako metoda 141.

Metoda je charakteristická tím, že elektrický oblouk se hoří mezi wolframovou (popř. wolframthoriovou) elektrodou a základním materiálem, přičemž přídavný materiál (drát, tyčinka, prášek) je do oblouku dodáván nezávisle. I když pro tento proces je možno použít proudu střídavého i stejnosměrného, je pro navařování vhodnější proud stejnosměrný, kde je wolframová elektroda zapojena na kladném pólu a základní materiál na záporném pólu. Přestože úbytek elektrody (jelikož kladný pól je teplejší) je o něco větší. Výhodou je však mělký a širší závar a tím tedy menší podíl základního materiálu v návaru. Napětí na oblouku je přitom asi o 6 V vyšší než u elektrody záporné. Při přímé polaritě je pak závar v základním materiálu hlubší a užší, což je vhodné pro spojovací svary. Ionty plynu zde putují opačně. [22]

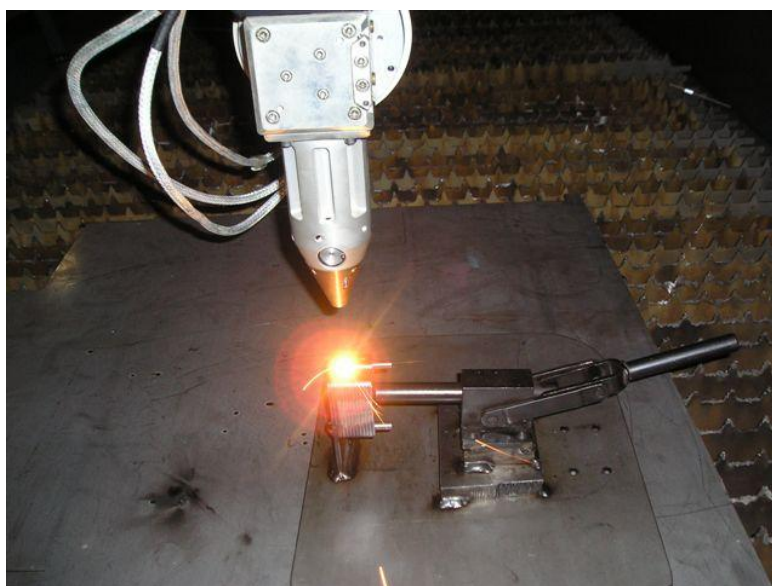


Obr. 2.7 Princip svařování TIG

2.4.2 Navařování laserem

Laser je zařízení, převádějící dodávanou energii na energii elektromagnetického záření. Tato technologie je šetrná k původnímu materiálu a nedochází zde k tepelnému ovlivnění navařované formy. Umožňuje navařovat i v místech, kde to jiné technologie již neumožňují. Při opravách tlakových forem se laser používá na velmi malé trhlinky.

Pro navařování se používá návarový materiál se shodnými vlastnostmi původního materiálu jak tvrdostí, tak mechanických vlastností. Tvrdosti návarového materiálu u nástrojových ocelí se pohybují od 30 HRC do 60 HRC, dle typu návarového materiálu. Navařené formy se již většinou tepelně nezpracovávají. [14]



Obr. 2.8 Navařování laserem

2.4.3 Mikronavařování

Při běžném způsobu navařování vzniká značně rozsáhlá tepelně ovlivněná oblast šířky 1 – 4 mm. Hlavním požadavkem při renovaci forem je minimalizovat tepelné ovlivnění základního materiálu, což nám umožňuje metoda mikronavařování. Je vhodné na všechny druhy poškození forem. Metoda je velmi rychlá, má snadné ovládání a lze svařovat bez ochranných plynů a tavidel. [21]

2.4.4 Navařování plazmou a mikroplazmou

Plazmový paprsek dosahuje vysokých teplot až 16 000 K a hustota energie plazmy je kolem 10^6 W.cm^{-2} . Rychlost ohřevu tímto zdrojem tepla je vysoká a vnesené teplo do základního materiálu je malé. Tím vzniká malá tepelně ovlivněná oblast, nízká úroveň deformací, minimální natavení základního materiálu a malé promísení návaru se základním materiálem. Vysokou stabilitu plazmového paprsku lze využít při navařování velmi malými proudy. Mikroplazma umožňuje svařovat i při proudu 0,005 A s energií paprsku soustředěnou na malou plochu. Mikroplazma se používá při opravách poškozených vtokových kanálů nebo erodovaných stěn forem.[21]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části této bakalářské práce bylo navrhnout parametry renovačního procesu u poškozených částí tlakové licí formy, v našem případě jádra. V dnešní době je nejpoužívanější metodou renovace ocelových forem pro tlakové lití navařování metodou TIG. Experimentální práce byly realizovány s firmou DGS Druckguss Systeme, s. r. o. v Liberci. Návary na vybraných dílech formy byly v této firmě provedeny pracovníkem věnujícím se opravám tlakových licích forem. Na navařování byl použit svařovací agregát Migatronik Pilot 1500H. Návary byly realizovány na hraně jádra v místech, kde bylo možné v jedné řadě umístit návary s různými svařovacími parametry. Snahou bylo vybrat taková místa, která by odpovídala místům, kde nejčastěji dochází k poškozením.

Při vyhodnocování realizovaných návarů byla pozornost soustředěna především na oblasti návarů, ve kterých se s ohledem na použitý základní materiál mohla vyskytnout nežádoucí poškození, např. trhliny a na místa s možným nežádoucím poklesem mechanických vlastností.

Jádra, na kterých byly realizovány zkušební návary, jsou zhotovena ze středně legované chrom-molybden-vanadové nástrojové oceli určené pro práci za tepla 1.2343 (způsob tepelného zpracování je uveden v kap. 2.2.3). V tabulce 3.1 je uvedeno chemické složení tohoto materiálu.

Tab. 3.1 Chemické složení základního materiálu

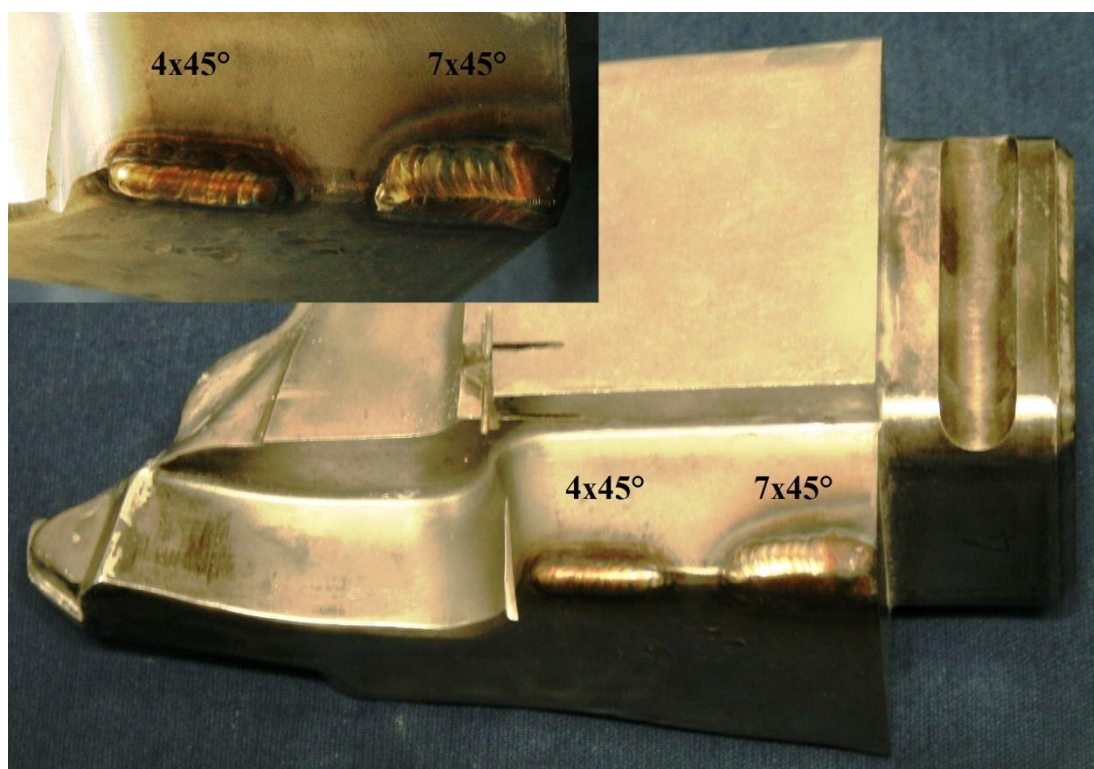
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
<i>Hm %</i>	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,10-1,50	0,30-0,40

3.1 Popis realizovaných experimentů

Návary byly realizované na jádrech v místech znázorněných na obr. 3.1 a 3.2 s parametry uvedenými v tab. 3.2. Všechny návary byly realizované po očištění dílů a bez přehřevu. Jako přídavný materiál byl použit drát s chemickým složením uvedeným v tab. 3.3. Svařovací parametry byly zvoleny v rozsahu obvyklém při renovačních procesech ve firmě. Úpravy svarových ploch úkosem byly zvoleny s cílem simulovat podmínky různého stupně poškození formy.



Obr. 3.1 Návary se svařovacím proudem 35, 45 a 80 A



Obr. 3.2 Návary s úkosem 4x45° a 7x45° a svařovacím proudem 45 A

Tab. 3.2 Použité parametry při navařování

svařovací proudy [A]	způsob navaření		
	bez úkosu	4x45°	7x45°
35	x	-	-
45	x	x	x
80	x	-	-

Tab. 3.3 Chemické složení návarového materiálu

	C	Si	Mn	Cr	Ni
Hm %	0,1	0,4	1,8	30,0	9,2

3.2 Vyhodnocování realizovaných experimentů

Při vyhodnocování realizovaných návarů byly postupně aplikovány následující metody:

- vizuální kontrola
- kapilární zkouška návarů
- metalografické hodnocení
- měření mikrotvrdosti dle Vickerse v teplem ovlivněné oblasti a v návaru.

Všechny uvedené postupy byly realizované na pracovišti katedry KSP.

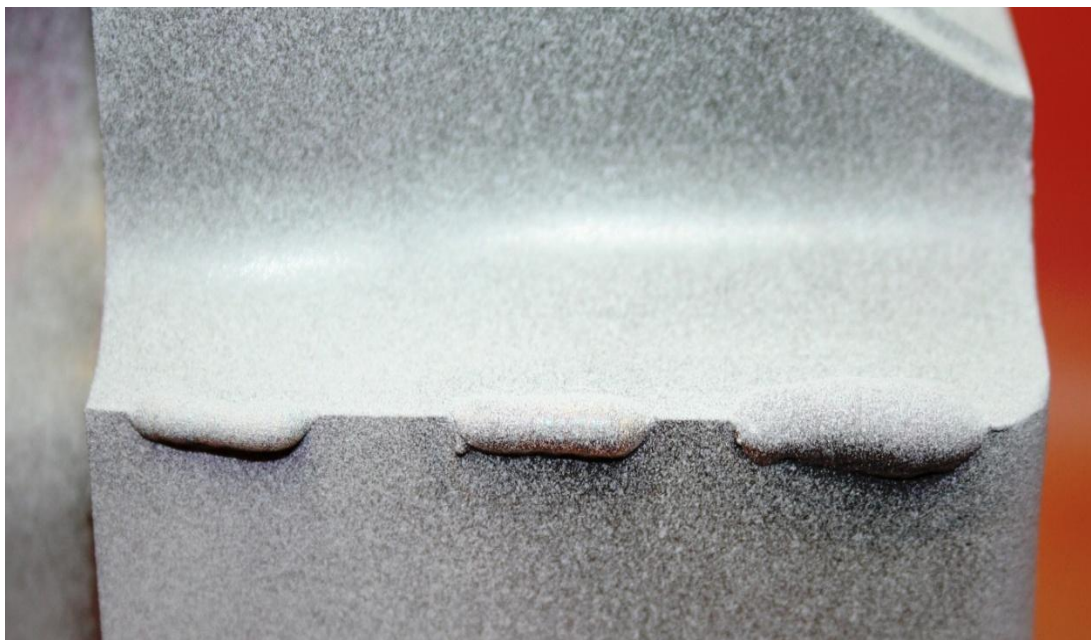
Realizované návary byly nejprve podobený vizuální prohlídce s cílem posoudit geometrii návaru a eventuální povrchové vady (trhlíny, zápaly). Při vizuální kontrole nebyly zjištěny žádné vady, které by zapříčinily nevyhovující výsledky. Podle náběhových barev bylo možno usoudit na velikost teplem ovlivněné oblasti.

3.2.1 Kapilární zkouška návarů

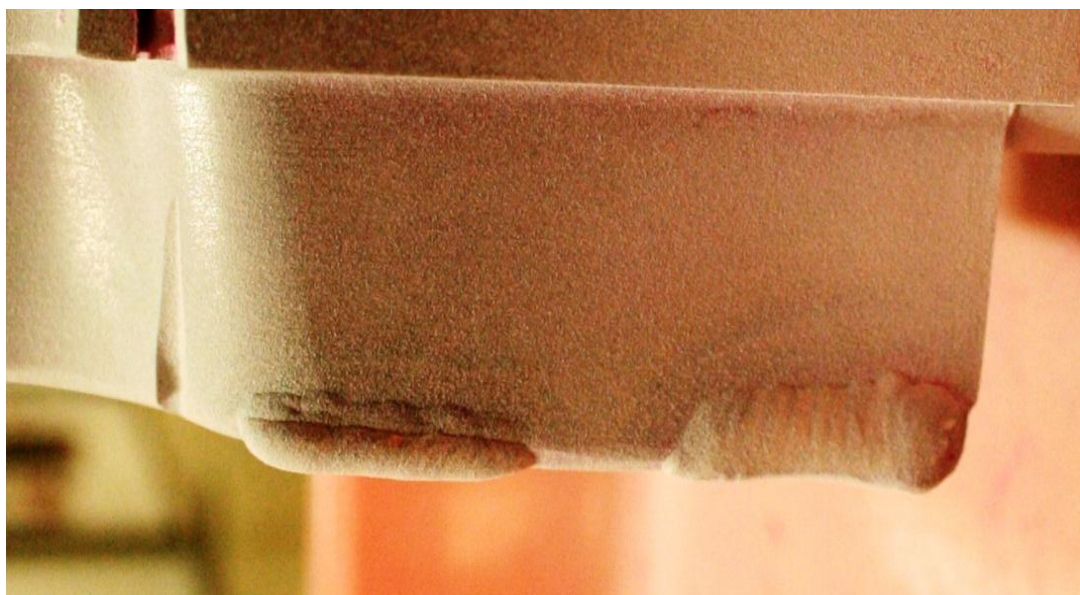
U všech vzorků byly dále realizovány kapilární zkoušky v souladu s normou ČSN EN 571-1. Zkouška byla provedena za účelem zjištění jemných povrchových vad (trhlíny, póry) u návarů. Podstatou zkoušky je využití kapilárních sil kapaliny, která umožňuje vniknutí vhodné detekční kapaliny do povrchových vad a posléze jejich vztlínání nad povrch.

V prvé řadě bylo nutné povrch jader důkladně očistit, odmastit a osušit. Na očištění a odstranění mastnoty byl použit čisticí prostředek ve spreji METACLEAN 300. Následně

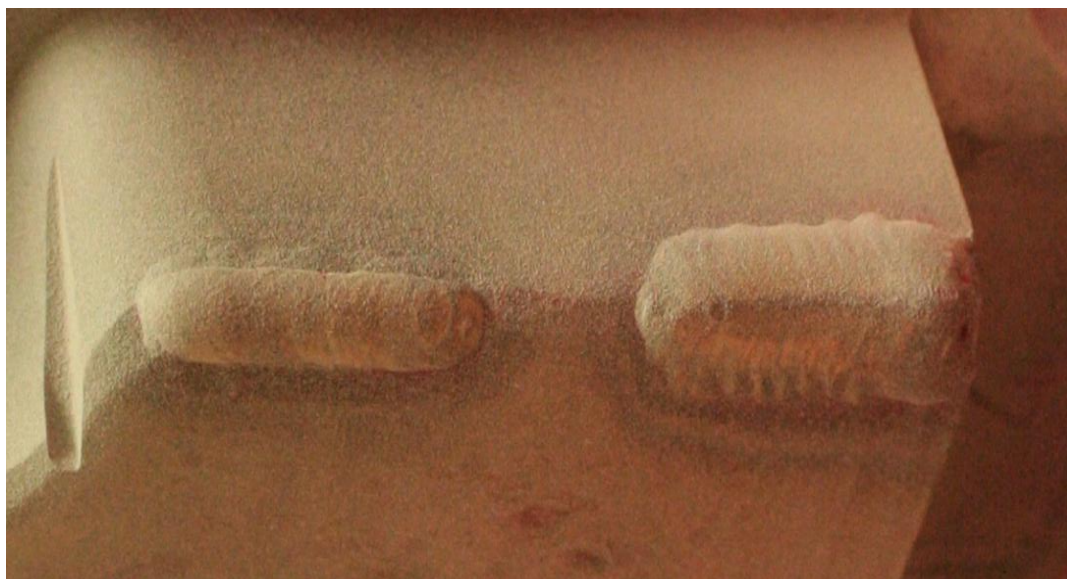
byl na povrch nanesen červený penetrační sprej PENTRIX 100. Penetrant se nechal 10 minut působit, aby stačil vniknout do otevřených povrchových vad návaru. Po této době byla přebytečná indikační látka z povrchu jader odstraněna. Povrch jádra byl osušen a poté byla nanesena detekční látka. Byl použit bílý detektor RIVELEX 200. Detektor vytvořil bílý povlak, ve kterém se v případě povrchových trhlin účinkem kapilárních sil objeví barevná mapa. U žádného z vyhodnocovaných návarů **nebyly zjištěny žádné vady**, viz obr. 3.3, 3.4 a 3.5.



Obr. 3.3 Výsledek kapilární zkoušky u třech návarů



Obr. 3.4 Výsledek kapilární zkoušky dvou návarů (boční pohled)



Obr. 3.5 Výsledek kapilární zkoušky dvou návarů (přímý pohled)

3.2.2 Metalografické hodnocení

Vzorky po metalografické hodnocení byly odebrány mechanickým způsobem na zařízení Delta AbrasiMet od firmy Buehler, viz obr. 3.6 vždy kolmo na směr návaru. Tepelnému ovlivnění vzorků zabraňuje intenzivní chlazení vodní emulzí.



Obr. 3.6 Pila Buehler Delta AbrasiMet a bruska Buehler Phoenix 4000

Příprava metalografických výbrusů byla provedena obvyklým postupem. Vzorky byly zapouzdřeny do Dentacrylu. Broušení a leštění probíhalo na metalografické brusce Phoenix 4000 od firmy Buehler, viz obr. 3.6. Jako leštící prostředek byla použita diamantová suspenze Metadi Fluid se zrnitostí 3 μm .

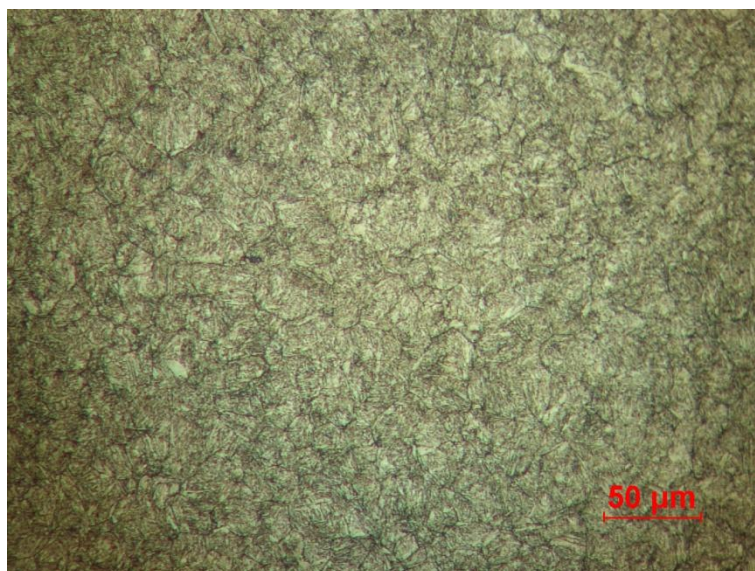
Po vyleštění vzorků byly metalografické vzorky pozorovány nejprve bez naleptání na metalografickém mikroskopu Neophot 21 od firmy Carl Zeiss Jena, viz obr. 3.7, který je spojen s digitální kamerou Nikon DS-L1. Kamea je propojena s počítačem, který obsahuje software pro optickou analýzu NIS-Elements. Pozorování se realizovalo při zvětšení od 50x

do 200x s cílem najít trhliny v návaru a teplem ovlivněné oblasti. **Žádné vady nebyly zjištěny.**



Obr. 3.7 Metalografický mikroskop Carl Zeiss Jena-Neophot 21

Dále byly metalografické vzorky naleptány 3% Nítalem. Po leptání byly vzorky opláchnuty vodou, lihem a na závěr osušeny. Vzorky byly pozorovány opět při postupně rostoucím zvětšení s cílem získat přehled o charakteru a rozsahu teplem ovlivněné oblasti. Na obr. 3.8 je uvedena struktura základního materiálu v neovlivněném stavu.

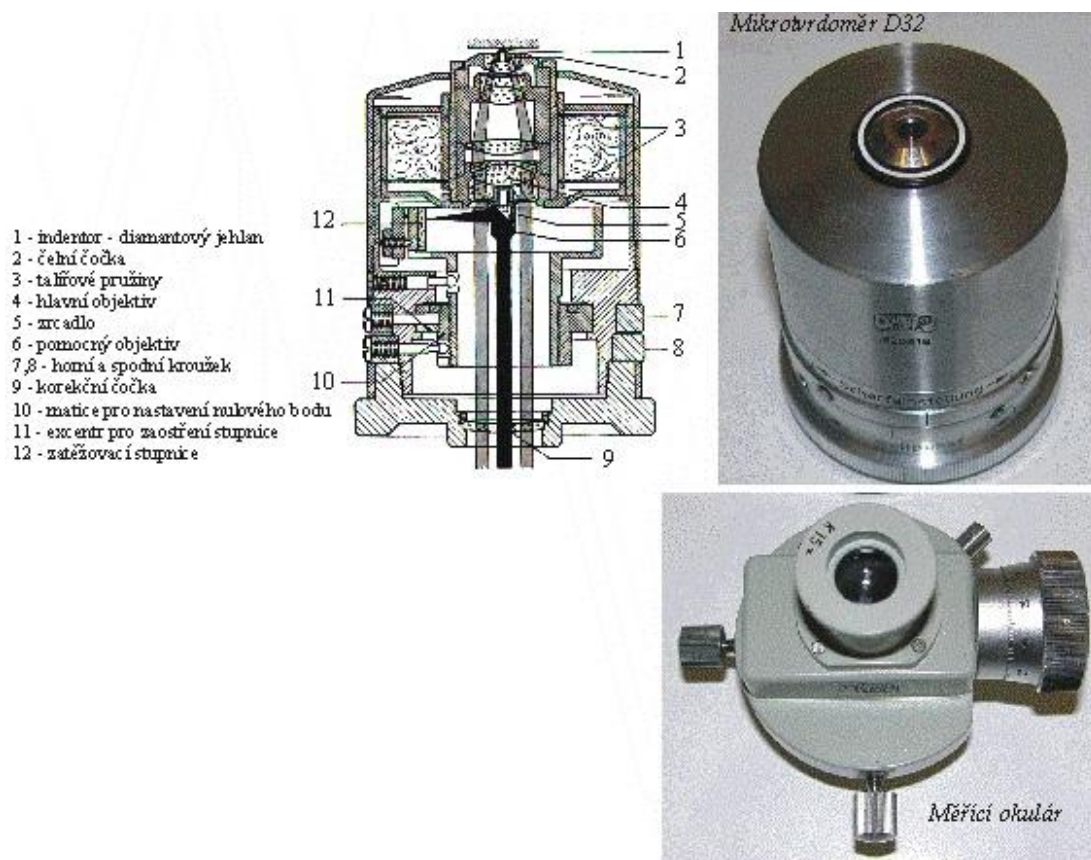


Obr. 3.8 Struktura základního materiálu

3.2.3 Zkouška mikrotvrlosti dle Vickerse

Mikrotvrdot u provedených návarů byla měřena pomocí mikrotvrdoměru Hanemann na mikroskopu Neophot 21 metodou podle Vickerse v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1 při zatížení 0,4903 N (tvrdot HV 0,05).

Konstrukce mikrotvrdoměru je znázorněna na obr. 3.9. Mikrotvrdoměr je vybaven vnikacím tělískem v podobě diamantového jehlanu o vrcholovém úhlu 136° , který je vsazen v ose do čelní čočky tak, že se vytvoří prostor ve tvaru mezikruží pro cestu světelných paprsků na osvětlení vzorku. Objektiv je zavěšen mezi dvěma talířovými pružinami, které zajišťují jeho paralelní vedení s optickou osou. Při působení zátěžovou silou na diamantový hrot vzniká pohyb. Zdvihem je dána míra velikosti zátěžové síly. Pohyb je měřen druhým optickým systémem. Systém je tvořen objektivem, který je umístěn za hlavním zobrazovacím objektivem. Světlo do něj přichází ze stejného světelného zdroje mikroskopu jako do hlavního objektivu. Světlo je odraženo zrcadlem na zatěžovací stupnici, která se zobrazí v okuláru. Oba objektivy jsou spolu pevně spojeny a společně se pohybují. Stupnice je pevně uchycena v pouzdru a její obraz se přenáší do okuláru, kde zobrazuje působení zátěžovací síly.

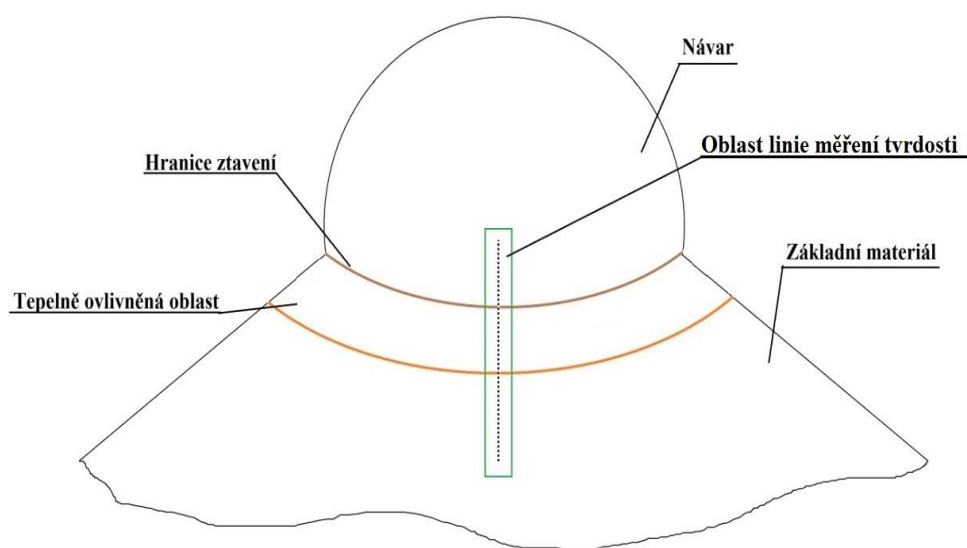


Obr. 3.9 Mikrotvrdoměr D32 a měřicí okulár

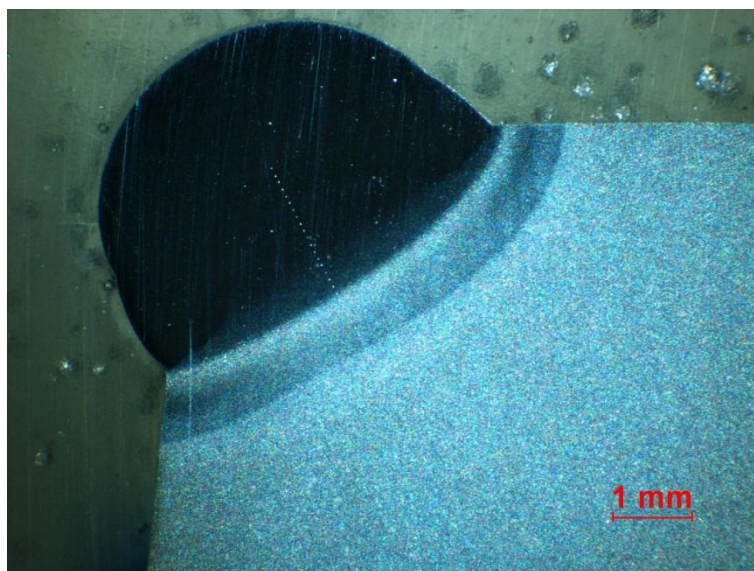
Označení jednotlivých vzorků je uvedeno v tabulce 3.4. Měření mikrotvrdosti probíhalo ve směru kolmém na hranici ztavení v místech, která jsou zřejmá ze schematického obrázku obr. 3.10 a dále uvedených snímků mikrostruktury obr. 3.11 až 3.15. Vzdálenosti jednotlivých vtisků byly 0,1 mm.

Tab. 3.4 Označení vzorků

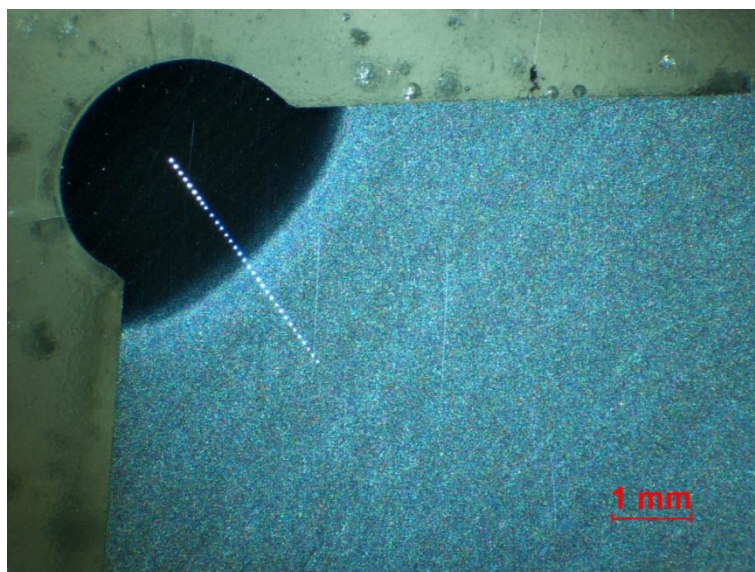
Číslo vzorku	1	2	3	4	5
Parametry	80 A	45 A	35 A	4x45°	7x45°
				45 A	



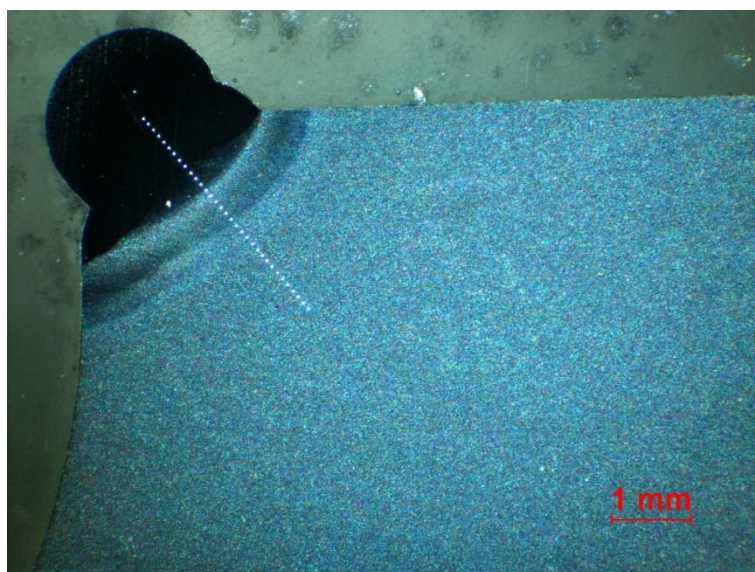
Obr. 3.10 Schematické znázornění návaru



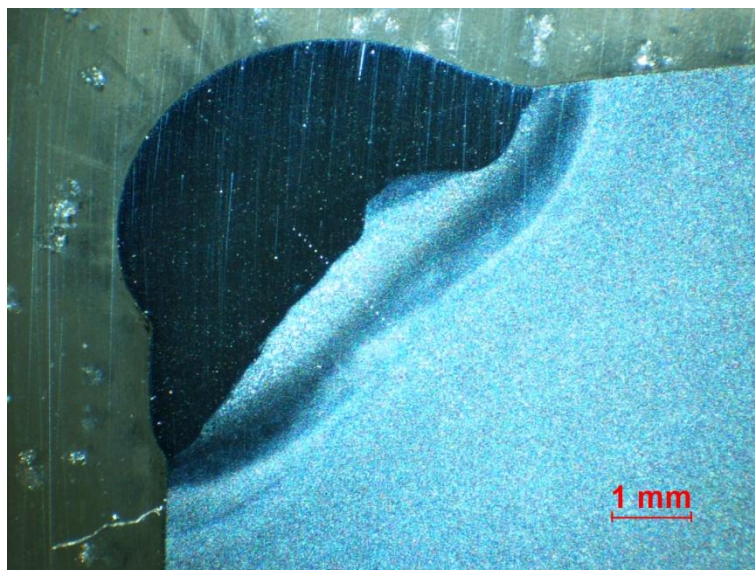
Obr. 3.11 Makrostruktura návaru u vzorku č. 1



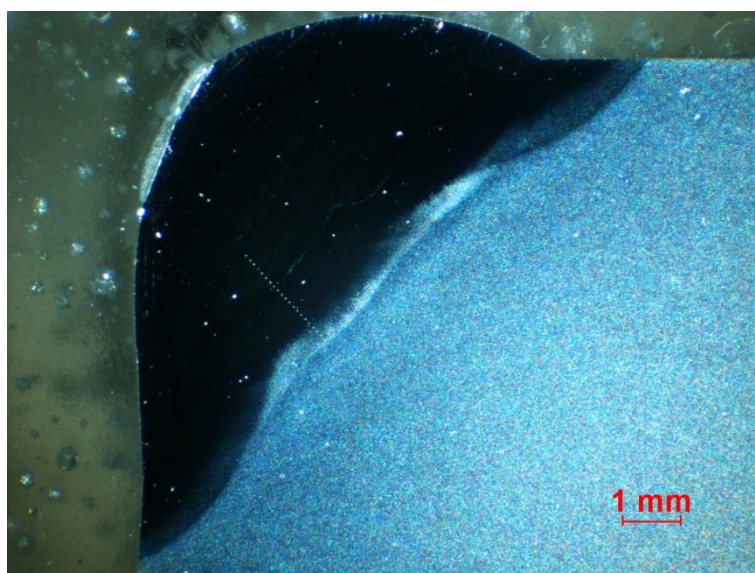
Obr. 3.12 Makrostruktura návaru u vzorku č. 2



Obr. 3.13 Makrostruktura návaru u vzorku č. 3



Obr. 3.14 Makrostruktura návaru u vzorku č. 4



Obr. 3.15 Makrostruktura návaru u vzorku č. 5

3.3 Vyhodnocení mikrotvrdosti

Získané hodnoty všech vzorků jsou uvedeny v příloze (tab. 7.1 až 7.5). V tabulce jsou uvedeny vypočítané hodnoty tvrdosti v souladu se vztahem 3-1. Naměřené výsledky jsou graficky zpracované na obr. 3.16 až 3.20.

Výpočet tvrdosti podle Vickerse je dán vztahem (3-1):

$$HV = \text{Konstanta} \times \frac{\text{Zkušební zatížení}}{\text{Povrch plochy vtisku}} = 0,102 \frac{2F \times \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

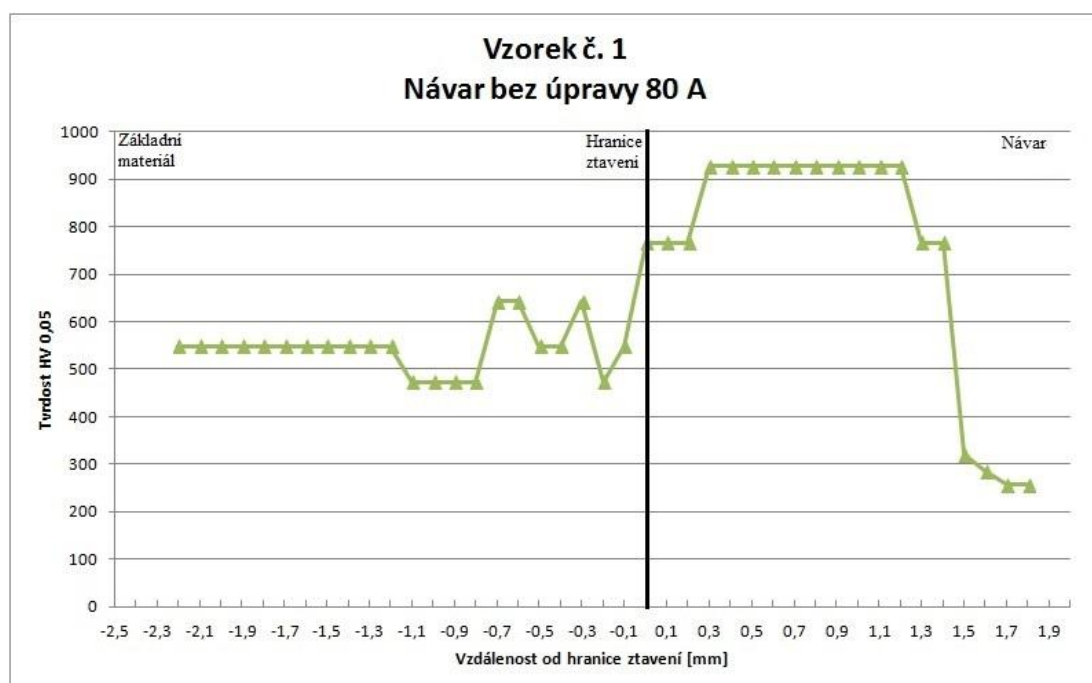
kde je: F ... Zkušební zatížení v newtonech [N];

d ... Aritmetický průměr délek, v milimetrech, dvou úhlopříček d_1 a d_2 ;

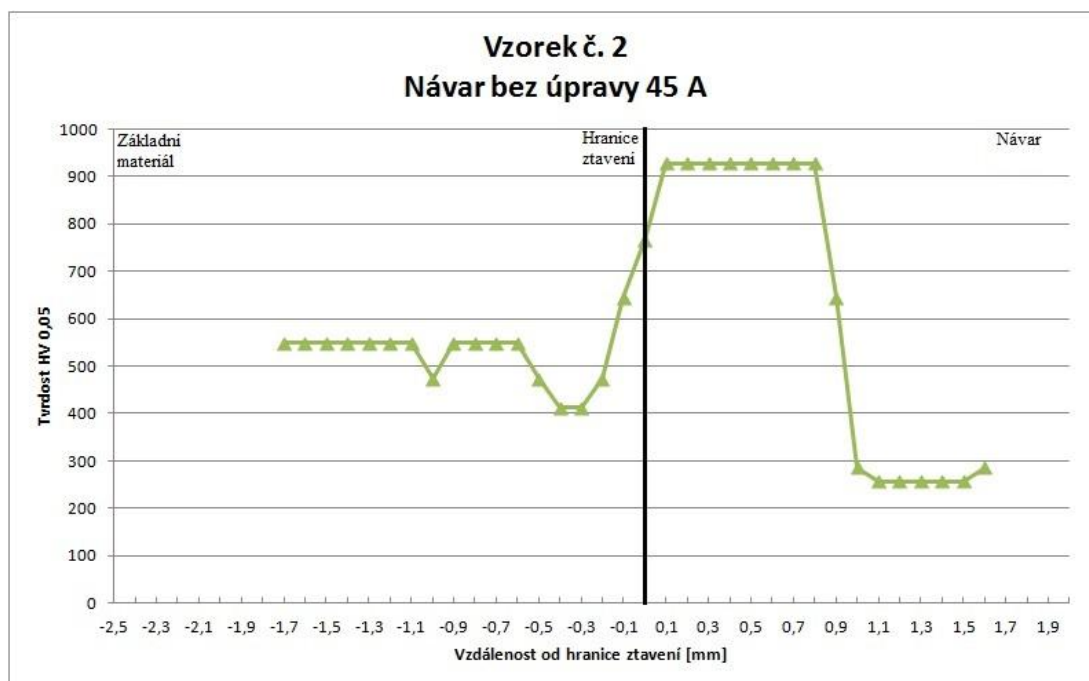
konstanta = $0,102 \cong 1/9,80665$, kde 9,80665 je převodní faktor z kg na N.

Výsledky měření tvrdosti u vzorku č. 1 jsou na obr. 3.16. V navařené vrstvě vzorku č. 1 se naměřené hodnoty tvrdosti pohybují od 257 HV 0,05 do 927 HV 0,05. Výrazné rozdíly v tvrdosti návaru vzniknou v důsledku různého promíšení nataveného základního materiálu a materiálu navařovacího drátu. Tvrdost na hranici ztavení je 776 HV 0,05. V základním materiálu a ovlivněném pásmu se tvrdost pohybuje od 473 HV 0,05 do 644 HV 0,05. Pokles tvrdosti v ovlivněném pásmu vzhledem k neovlivněnému základnímu materiálu je nevýrazný.

Výsledky měření tvrdosti u vzorku č. 2 jsou na obr. 3.17. V návaru je tvrdost v rozmezí od 257 HV 0,05 až 927 HV 0,05, tj. jako u vzorku č. 1. Vzhledem k nižšímu svařovacím proudy je menší celkové množství nataveného materiálu a tloušťka vrstvy se zvýšenou tvrdostí v návaru je menší. Tvrdost na hranici ztavení je 776 HV 0,05. V základním materiálu je tvrdost od 412 HV 0,05 do 644 HV 0,05. Pokles tvrdosti v ovlivněném pásmu vzhledem k výsledkům u vzorku č. 1 je srovnatelný.



Obr. 3.16 Průběh mikrotvrdosti u vzorku č. 1

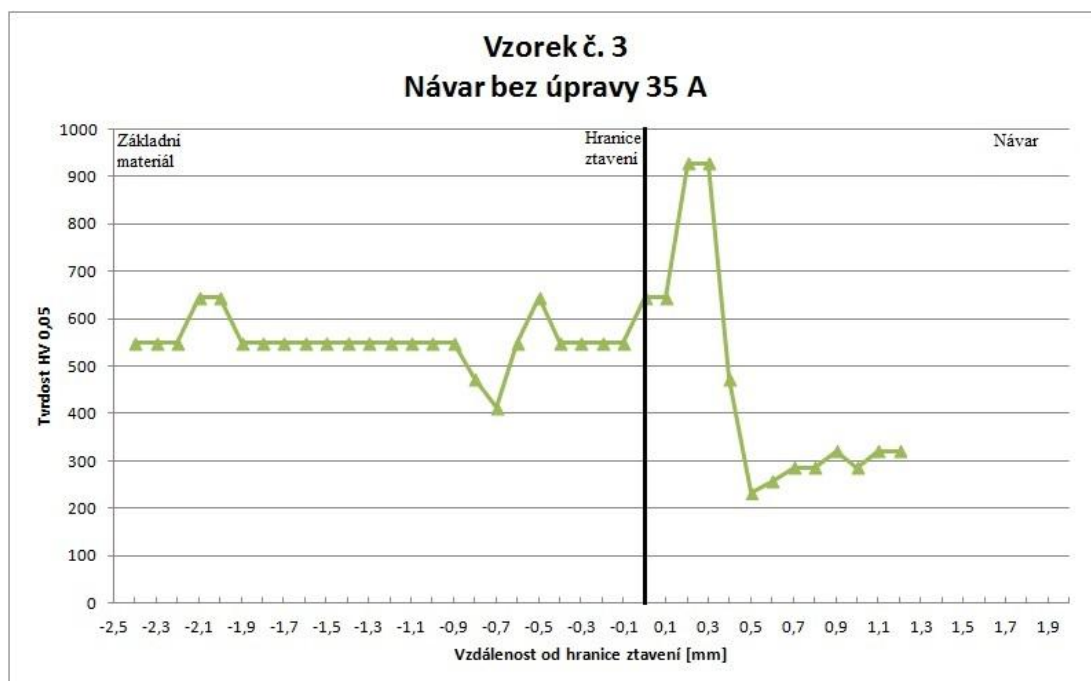


Obr. 3.17 Průběh mikrotvrdości u vzorku č. 2

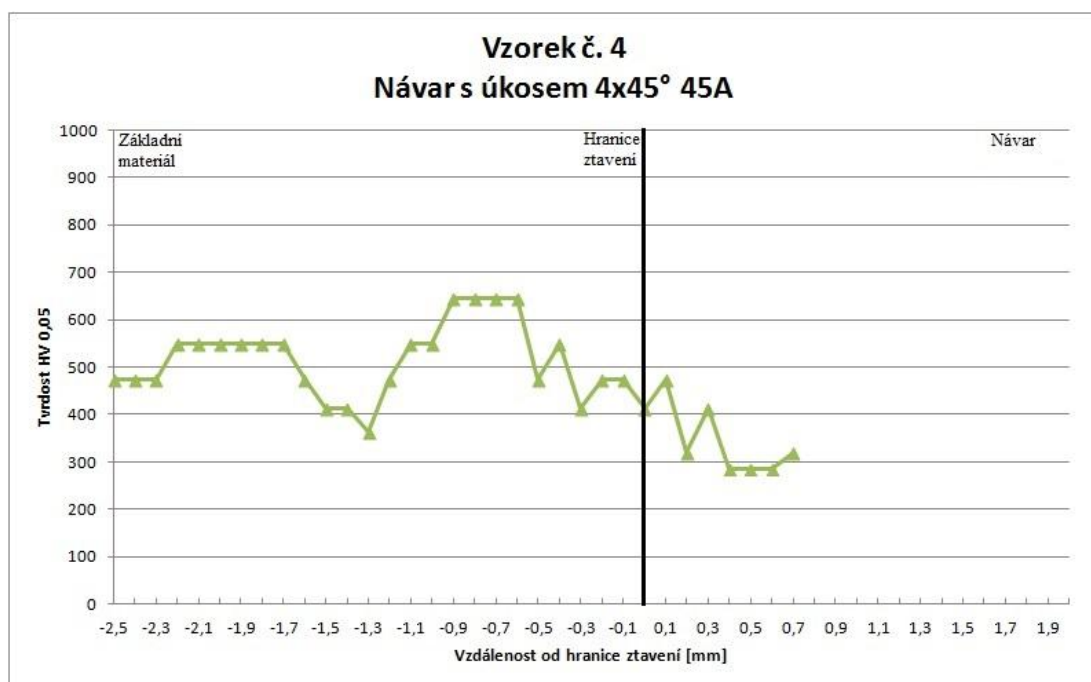
Výsledky měření tvrdosti u vzorku č. 3 jsou na obr. 3.18. U vzorku č. 3 se v návaru naměřené hodnoty tvrdosti pohybují v rozpětí od 232 HV 0,05 do 927 HV 0,05. Tloušťka vrstvy se zvýšenou tvrdostí v návaru je ve srovnání s předchozími vzorky nejmenší. Tvrdość na hranici ztavení je 644 HV 0,05. V základním materiálu je tvrdost od 412 HV 0,05 do 664 HV 0,05. Pokles tvrdosti v ovlivněném pásmu vzhledem k výsledkům u vzorku č. 1 a č. 2 je srovnatelný.

Výsledky měření tvrdosti u vzorku č. 4 jsou na obr. 3.19. Tvrdość v návaru se pohybuje od 286 HV 0,05 do 473 HV 0,05. Průběh tvrdosti v návaru lze vysvětlit malým podílem roztaveného základního materiálu, který přechází do návaru. Tvrdość na hranici ztavení je 412 HV 0,05. Na základním materiálu byla naměřena tvrdost od 362 HV 0,05 do 644 HV 0,05.

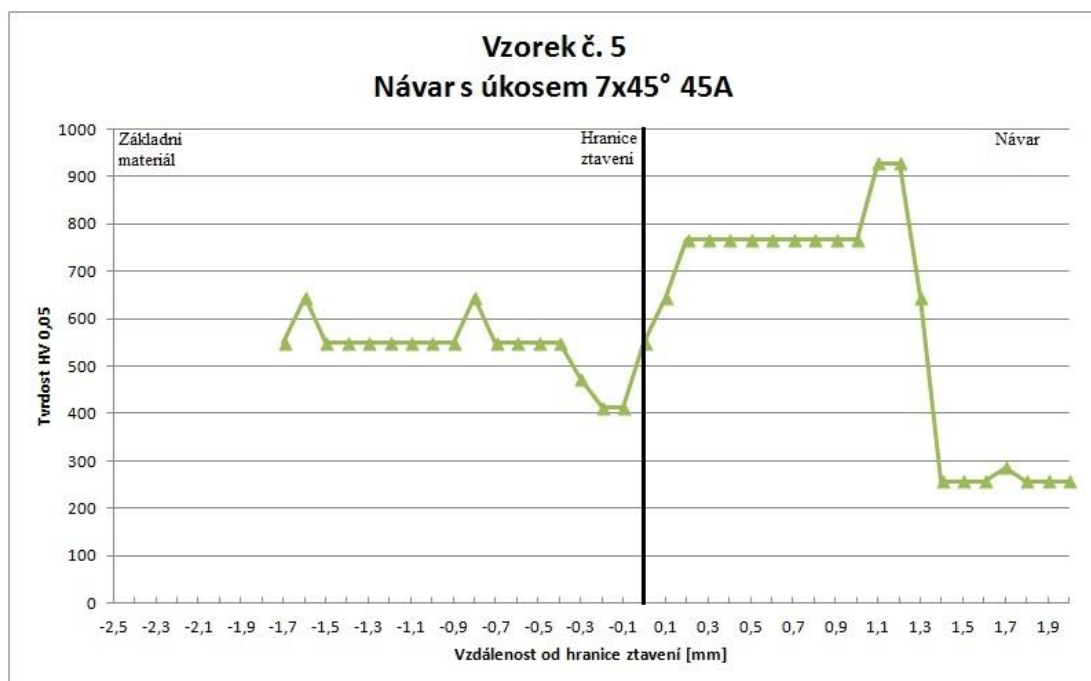
U vzorku č. 5 (ob. 3.20) se v návaru pohybuje tvrdost v rozmezí od 257 HV 0,05 do 927 HV 0,05. Tvrdość na hranici ztavení činí 549 HV 0,05. V základním materiálu se tvrdost pohybuje od 412 HV 0,05 do 644 HV 0,05.



Obr. 3.18 Průběh mikrotvrdosti u vzorku č. 3



Obr. 3.19 Průběh mikrotvrdosti u vzorku č. 4



Obr. 3.20 Průběh mikrotvrdosti u vzorku č. 5

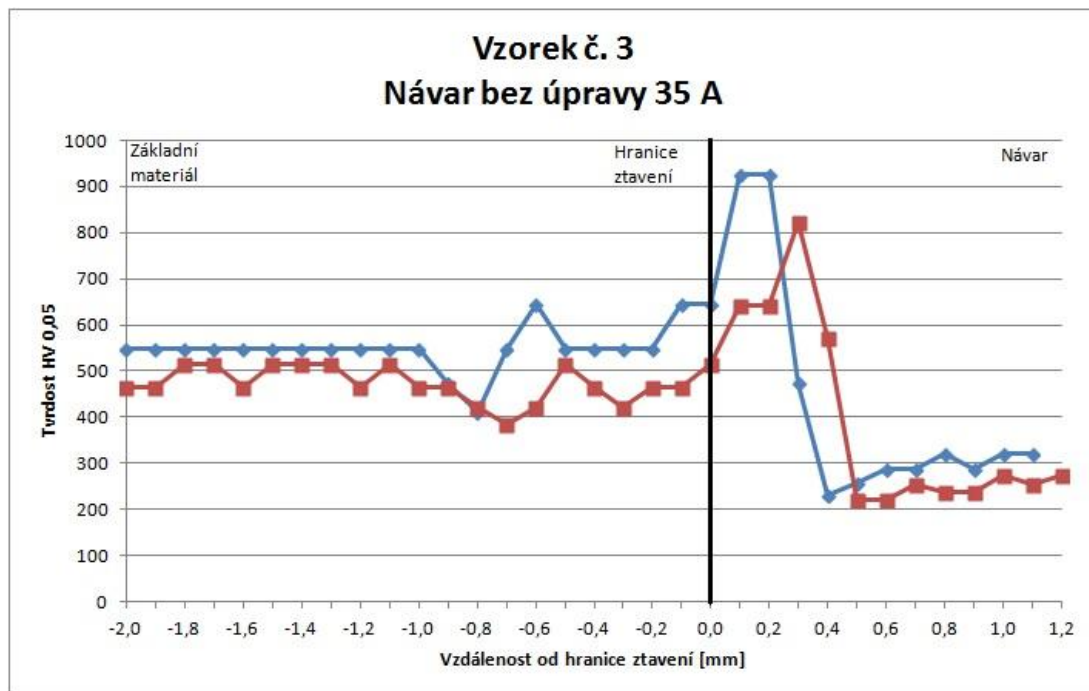
Hodnocení vlivu úpravy svarových ploch u vzorků č. 4 a č. 5 je podle výsledků měření tvrdosti obtížné. U vzorku č. 5 je celková šířka, ve které dojde ke zvýšení tvrdosti v návaru větší a zvýšení tvrdosti je výrazné. Hodnocení rozdílu v naměřených výsledcích u obou vzorků je obtížné, neboť se jedná o ruční navařování a u velkého úkosu je nutné návar vytvářet s rozkyvem přídavného materiálu. Bylo by vhodné provést měření tvrdosti v několika dalších liniích přes hranici ztavení.

Celkově je nutno konstatovat, že hodnocení průběhu tvrdosti v teplem ovlivněné oblasti je ztíženo skutečností, že se jedná o ruční navařování a není možné jednoznačně stanovit množství vneseného tepla na jednotku délky návaru (není zaručena konstantní rychlost navařování).

Při posuzování rozdílů v naměřených hodnotách mikrotvrdosti je nutno uvážit dosažitelnou přesnost měření rozměru vtisku. Naměřené rozměry vtisku byly zaokrouhleny v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1 na tisícinny mm. Nepřesnost stanovené hodnoty mikrotvrdosti vzrůstá s rostoucí tvrdostí (menší velikost vtisku). Proto uvedená norma předpokládá délku úhlopříček větší než 0,020 mm. V našem případě se nejmenší rozměry úhlopříčky vtisku rovnaly 0,010 mm. Pro velikost úhlopříčky 0,010 mm a za předpokladu přesnosti měření její délky $\pm 0,001$ mm, by se zjištěné hodnoty tvrdosti pohybovaly v rozmezí 927 ± 189 HV 0,05. Pro délku úhlopříčky $0,019 \pm 0,001$ mm, je toto rozmezí 257 ± 27 HV 0,05.

U vybraného vzorku č. 3 bylo provedeno srovnávací měření s vyšší hodnotou zatěžovací síly. Měření bylo realizováno ve vzdálenosti 0,2 mm v linii rovnoběžné

s původním měřením. Na obr. 3.21 je znázorněn rozdíl v naměřených tvrdostech při použití metody HV 0,05 (modrá spojnice) a HV 0,1 (červená spojnice). I přes rozdílné hodnoty tvrdosti zjištěné při různém zatížení je patrné, že trend hodnot tvrdosti zůstává zachován.



Obr. 3.21 Porovnání průběhu mikrotvrdosti HV 0,05 a HV 0,1 u vzorku č. 3

4. ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navrhnout vhodné parametry při renovačním procesu metodou ISO 4063-141 u tlakové licí formy, v našem případě jádra. Jádro bylo ze středně legované chrom-molybden-vanadové nástrojové oceli určené pro práci za tepla 1.2343. Celkem bylo realizováno 5 návarů za různých podmínek (tab. 3.1). Návary byly postupně podrobeny vizuální kontrole, kapilární zkoušce, metalografickému hodnocení a měření mikrotvrdosti dle Vickerse v teplem ovlivněné oblasti a v návaru.

Při vizuální kontrole nebyly zjištěny žádné vady, které by měly negativní vliv na výsledek renovačního procesu. Kapilární zkouška byla provedena za účelem zjištění povrchových trhlin nebo pórů u návarů. U vyhodnocených návarů nebyly zjištěny žádné vady. Metalografické hodnocení návarů před naleptáním bylo realizované s cílem najít trhliny v návaru a teplem ovlivněné oblasti. Ani u tohoto hodnocení vzorků nebyly zjištěny žádné vady. Během měření mikrotvrdosti byla u všech vzorků zjišťována tvrdost v návaru, na hranici ztavení a v základním materiálu. Naměřené hodnoty mikrotvrdosti byly vyhodnoceny graficky.

Při porovnání výsledků měření tvrdosti u vzorku bez úpravy svarových ploch je zřejmé, že se s velikostí svařovacího proudu mění i šířka teplem ovlivněné oblasti, ve které dojde k změnám v tvrdosti v porovnání s hodnotami tvrdosti výchozího základního materiálu. Pásmo, ve kterém dochází ke snížení tvrdosti popuštěním, je úzké a tvrdost zůstává nad úrovní 400 HV 0,05 (s výjimkou jednoho vpichu u vzorku č. 4). Maximální tvrdosti naměřené v návaru překračují 900 HV a závislosti na stupni promíšení nataveného základního materiálu a navařovaného materiálu klesá tvrdost až na 257 HV.

Při hodnocení vlivu úpravy svarových ploch je u vzorku č. 5 celková šířka, ve které dojde ke zvýšení tvrdosti, větší a zvýšení tvrdosti je výrazné. Hodnocení rozdílů v naměřených výsledcích u obou vzorků je obtížné, neboť se jedná o ruční svařování a u velkého úkosu je nutné návar vytvářet s rozkyvem přídavného materiálu.

Celkově je nutno konstatovat, že hodnocení průběhu tvrdosti v teplem ovlivněné oblasti je ztíženo skutečností, že se jedná o ruční navařování a není možné jednoznačně stanovit množství vneseného tepla na jednotku délky návaru (není zaručena konstantní rychlost navařování). I přes uvedené skutečnosti jsou získané hodnoty tvrdosti v souladu s teoretickými předpoklady. Za rozhodující lze pokládat, že v návarech a v teplem ovlivněných oblastech nebyly zjištěny žádné trhliny. To platí pro všechny experimenty bez ohledu na použité svařovací parametry. S ohledem na účel renovačního procesu je nutno upřednostnit použití nižších svařovacích proudů a snahu o vnesení co nejmenšího množství tepla na jednotku délky návaru.

Nízké hodnoty tvrdosti v návaru (dáno typem použitého přídavného materiálu) může být příčinou nižší odolnosti vůči opotřebení ve srovnání s výchozím materiálem. Volba přídavného materiálu je však provedena s ohledem na jeho velmi dobré plastické vlastnosti.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VESECKÝ, O.; MAŇAS, S.: *Metodický návrh technologických pracovišť pro tlakové lit:* Prešov, Slovenská republika 2004. Dostupné z:
<http://cs.scribd.com/doc/38163799/Nove-smery-ve-vyrobnich-technologiich-2004>.
- [2] ROUČKA, J.: *Metalurgie neželezných slitin:* Akademické nakladatelství CERM,s.r.o.,Brno, 2004.
- [3] KRŇÁVEK, Š.: *Optimalizace procesu lití tlakového odlitku ložiskového štítu elektromotoru:* [Bakalářská práce]. VUT Brno, 2012. 53 s.
- [4] KOLDA, V.: *Numerická simulace plnění a tuhnutí odlitku:* [Diplomová práce]. VUT Brno, 2008. 72 s.
- [5] RAGAN, E.: *Liatie kovov pod tlakom:* 1. vyd. Fakulta výrobních technológií se sídlem v Prešově 2007. 392 s.
- [6] LICHÝ, P.; ELBEL, T.: *Speciální metody výroby odlitků:* [Studijní opora]. VŠB Ostrava, 2008. 95 s.
- [7] ŠPINLEROVÁ, M.: *Technologie, obor Nástrojař:* SŠT Opava 2007. 83 s.
- [8] HAVEL, J.: *Hodnocení porezity u tlakově litých odlitků z Al slitin:* [Diplomová práce]. VUT Brno, 2012. 85 s.
- [9] ŠEBL, J.: *Formy pro lití kovů pod tlakem:* SNTL, Praha 1962. 116 s.
- [10] ŠEBL, J.: *Lití kovů pod tlakem:* SNTL, Praha 1961. 124 s.
- [11] VALECKÝ, J.: *Lití kovů pod tlakem:* SNTL, Praha 1963. 452 s.
- [12] http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/MV-cv_3.pdf str. 16.
- [13] ARISUDA Y.; HASUNO A.; YOSHIDA J.; TANII K.; China Foundry vol.5 no4, *Improvement of die life in high speed injection die casting:* Dostupné z:
<http://www.foundryworld.com/uploadfile/200922748303813.pdf>
- [14] BAJDA, M.: *Navařování kovů:* Ostrava – Poruba. Dostupné z:
http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Nava%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_complete.pdf.
- [15] HOŘEJŠ, S.; CARBOL, P.: *Význam povlakování forem pro tlakové lití – povlaky PA CVD:* 2009. Dostupné z: <http://sk.scribd.com/doc/15649090/6/PA-CVD-povlaky-nastroj-ke%C2%A0zvy%C5%A1ovani-kvality-forem-pro-tlakove-liti>.
- [16] http://www.chemtrend.com/application/die_casting.
- [17] PROCHÁZKA, V.: *Koncepční návrh konstrukce vysokotlakých forem na hliník s použitím CAD system:* [Diplomová práce]. VUT Brno, 2006. 67 s.
- [18] Materiálové listy firmy Bohler dostupné z: http://www.bucorp.com/hot_work.htm.
- [19] Materiálové listy firmy ThyssenKrupp dostupné z: <http://www.schmolz-bickenbach.cz/>.

- [20] http://www.welco.sk/cz/library/files/cronitex/OPRAVY_NASTROJU_A_FOREM.pdf.
- [21] KUBÍČEK, J.: *Renovace a povrchové úpravy*: [Studijní podpora]. VUT Brno, 2006. 90 s.
- [22] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>.

6. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1.	Tab. 7.1 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 1
Příloha č. 2.	Tab. 7.2 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 2
Příloha č. 3.	Tab. 7.3 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 3
Příloha č. 4.	Tab. 7.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 4
Příloha č. 5.	Tab. 7.5 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 5

Příloha č. 1. *Tab. 7.1 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 1*

Vzdálenost od hranice ztavení [mm]	Vzorek č. 1	
	d [mm]	HV 0,05
-2,2	0,01300	549
-2,1	0,01300	549
-2	0,01300	549
-1,9	0,01300	549
-1,8	0,01300	549
-1,7	0,01300	549
-1,6	0,01300	549
-1,5	0,01300	549
-1,4	0,01300	549
-1,3	0,01300	549
-1,2	0,01300	549
-1,1	0,01400	473
-1	0,01400	473
-0,9	0,01400	473
-0,8	0,01400	473
-0,7	0,01200	644
-0,6	0,01200	644
-0,5	0,01300	549
-0,4	0,01300	549
-0,3	0,01200	644
-0,2	0,01400	473
-0,1	0,01300	549
0	0,01100	766
0,1	0,01100	766
0,2	0,01100	766
0,3	0,01000	927
0,4	0,01000	927
0,5	0,01000	927
0,6	0,01000	927
0,7	0,01000	927
0,8	0,01000	927
0,9	0,01000	927
1	0,01000	927
1,1	0,01000	927
1,2	0,01000	927
1,3	0,01100	766
1,4	0,01100	766
1,5	0,01700	321
1,6	0,01800	286
1,7	0,01900	257
1,8	0,01900	257

Příloha č. 2. *Tab. 7.2 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 2*

Vzdálenost od hranice ztavení [mm]	Vzorek č. 2	
	d [mm]	HV 0,05
-1,7	0,01300	549
-1,6	0,01300	549
-1,5	0,01300	549
-1,4	0,01300	549
-1,3	0,01300	549
-1,2	0,01300	549
-1,1	0,01300	549
-1	0,01400	473
-0,9	0,01300	549
-0,8	0,01300	549
-0,7	0,01300	549
-0,6	0,01300	549
-0,5	0,01400	473
-0,4	0,01500	412
-0,3	0,01500	412
-0,2	0,01400	473
-0,1	0,01200	644
0	0,01100	766
0,1	0,01000	927
0,2	0,01000	927
0,3	0,01000	927
0,4	0,01000	927
0,5	0,01000	927
0,6	0,01000	927
0,7	0,01000	927
0,8	0,01000	927
0,9	0,01200	644
1	0,01800	286
1,1	0,01900	257
1,2	0,01900	257
1,3	0,01900	257
1,4	0,01900	257
1,5	0,01900	257
1,6	0,01800	286

Příloha č. 3. Tab. 7.3 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 3

Vzdálenost od hranice ztavení [mm]	Vzorek č. 3			
	d [mm]	HV 0,05	d [mm]	HV 0,1
-2,4	0,01300	549		
-2,3	0,01300	549		
-2,2	0,01300	549		
-2,1	0,01200	644		
-2	0,01200	644	0,02000	464
-1,9	0,01300	549	0,02000	464
-1,8	0,01300	549	0,01900	514
-1,7	0,01300	549	0,01900	514
-1,6	0,01300	549	0,02000	464
-1,5	0,01300	549	0,01900	514
-1,4	0,01300	549	0,01900	514
-1,3	0,01300	549	0,01900	514
-1,2	0,01300	549	0,02000	464
-1,1	0,01300	549	0,01900	514
-1	0,01300	549	0,02000	464
-0,9	0,01300	549	0,02000	464
-0,8	0,01400	473	0,02100	421
-0,7	0,01500	412	0,02200	383
-0,6	0,01300	549	0,02100	421
-0,5	0,01200	644	0,01900	514
-0,4	0,01300	549	0,02000	464
-0,3	0,01300	549	0,02100	421
-0,2	0,01300	549	0,02000	464
-0,1	0,01300	549	0,02000	464
0	0,01200	644	0,01900	514
0,1	0,01200	644	0,01700	642
0,2	0,01000	927	0,01700	642
0,3	0,01000	927	0,01500	824
0,4	0,01400	473	0,01800	573
0,5	0,02000	232	0,02900	221
0,6	0,01900	257	0,02900	221
0,7	0,01800	286	0,02700	254
0,8	0,01800	286	0,02800	237
0,9	0,01700	321	0,02800	237
1	0,01800	286	0,02600	274
1,1	0,01700	321	0,02700	254
1,2	0,01700	321	0,02600	274

Příloha č. 4. *Tab. 7.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 4*

Vzdálenost od hranice ztavení [mm]	Vzorek č. 4	
	d [mm]	HV 0,05
-2,5	0,01400	473
-2,4	0,01400	473
-2,3	0,01400	473
-2,2	0,01300	549
-2,1	0,01300	549
-2	0,01300	549
-1,9	0,01300	549
-1,8	0,01300	549
-1,7	0,01300	549
-1,6	0,01400	473
-1,5	0,01500	412
-1,4	0,01500	412
-1,3	0,01600	362
-1,2	0,01400	473
-1,1	0,01300	549
-1	0,01300	549
-0,9	0,01200	644
-0,8	0,01200	644
-0,7	0,01200	644
-0,6	0,01200	644
-0,5	0,01400	473
-0,4	0,01300	549
-0,3	0,01500	412
-0,2	0,01400	473
-0,1	0,01400	473
0	0,01500	412
0,1	0,01400	473
0,2	0,01700	321
0,3	0,01500	412
0,4	0,01800	286
0,5	0,01800	286
0,6	0,01800	286
0,7	0,01700	321

Příloha č. 5. *Tab. 7.5 Naměřené a vypočtené hodnoty pro vzorek č. 5*

Vzdálenost od hranice ztavení [mm]	Vzorek č. 5	
	d [mm]	HV 0,05
-1,7	0,01300	549
-1,6	0,01200	644
-1,5	0,01300	549
-1,4	0,01300	549
-1,3	0,01300	549
-1,2	0,01300	549
-1,1	0,01300	549
-1	0,01300	549
-0,9	0,01300	549
-0,8	0,01200	644
-0,7	0,01300	549
-0,6	0,01300	549
-0,5	0,01300	549
-0,4	0,01300	549
-0,3	0,01400	473
-0,2	0,01500	412
-0,1	0,01500	412
0	0,01300	549
0,1	0,01200	644
0,2	0,01100	766
0,3	0,01100	766
0,4	0,01100	766
0,5	0,01100	766
0,6	0,01100	766
0,7	0,01100	766
0,8	0,01100	766
0,9	0,01100	766
1	0,01100	766
1,1	0,01000	927
1,2	0,01000	927
1,3	0,01200	644
1,4	0,01900	257
1,5	0,01900	257
1,6	0,01900	257
1,7	0,01800	286
1,8	0,01900	257
1,9	0,01900	257
2	0,01900	257

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřeby TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24.5. 2013

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24.5. 2013

Signature: